

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Technologie oprav listu vrtule letounu SAAB 340/2000

Technology of Reparations of Propeller's Blades of
Aircraft's SAAB 340/2000

Student:

Martin Bičan

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Kolarczyk

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Bičan**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3708R028 Technologie dopravy
Specializace: 70 Technologie údržby letecké techniky
Téma: **Technologie oprav listu vrtule letounu SAAB 340/2000**
Technology of Reparations of Propeller's Blades of Aircraft's SAAB 340/2000

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce,
2. Poškození vrtule a jejich specifikace,
3. Prostředky a zařízení pro opravu vrtule,
4. Stávající technologické postupy pro opravu vrtule,
5. Vylepšení technologických postupů oprav vrtule.
6. Závěr a ekonomické zhodnocení.

Minimální rozsah BP je 30 stran textu (obrázky, tabulky, grafy a přílohy se do tohoto rozsahu nepočítají) práce musí v rámci úvodu obsahovat kapitolu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dowty aerospace propellers - Study notes - England
Dowty propellers - Standart Practices Manual - 60-00-00
Aircraft Maintenance Manual (AMM) - Saab 340/2000, Chapter 61-00-00
Aircraft Illustrated Part Catalog (AIPC) - Saab 340/2000
Dowty Aerospace Propellers - Component Maintenance Manual (CMM) - Saab 340/2000

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kolarczyk**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Bičan

Adresa trvalého pobytu autora práce: Spytihněv 548

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BIČAN, M. *Technologie oprav listu vrtule letounu SAAB 340/2000 : bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 71 s. Vedoucí práce: Kolarczyk, P.

Bakalářská práce se zabývá technologií oprav listů vrtule letounů SAAB 340/2000. V úvodu práce je popsána konstrukce vrtule letounu SAAB 340 včetně konstrukce vrtulového listu a principu jejich činnosti. Jsou zde shrnuty nejčastější druhy poškození vrtulového listu vznikající za provozu letounu a limitní hodnoty pro provedení jejich oprav. Dále jsou zde rozebrány stávající technologické postupy pro opravu listů vrtule a s nimi související prostředky a zařízení pro jejich opravu. Na základě rozboru stávajících technologických postupů a stávající situace při provádění oprav vrtule je navrženo vylepšení, jehož realizace umožní zkvalitnění postupů oprav vrtule a snížení nákladů na provedení opravy.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BIČAN, M. *Technology of Reparations of Propeller's Blades of Aircraft's SAAB 340/2000: Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 71 p. Thesis head: Kolarczyk, P.

Bachelor thesis deals with technology of reparations of propeller's blades of aircrafts SAAB 340/2000. The introduction describes the design of a propeller of the airplane Saab 340 including propeller's blade design and principle of their operations. It summarizes the most common types of damage to the propeller blade arising under operation of an airplane and thresholds for implementation of corrections. Next there are discussed the current processes for the repair of blades and related tools and equipment for their repair. Based on analysis of existing processes and the current situation in the repairs of propeller are suggested improvements, the implementation allows for improvement of practises of propeller repairs, and reducing the cost of repairs.

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1. Úvod	10
1.1 Cíl práce	11
2. Poškození vrtule a jejich specifikace	12
2.1 Vrtule všeobecně	12
2.2 Vrtule letounu SAAB 340	13
2.3 Limity poškození listu vrtule	21
3. Prostředky a zařízení pro opravu vrtule	27
3.1 Výbava pro lepení ochrany náběžné hrany – přístroj LEGBR 9134	27
3.2 Vyvažovací zařízení typu Marvel	29
4. Stávající technologické postupy pro opravu vrtule	31
4.1 Oprava odlepeného erozního pásu	31
4.2 Opravy poškození na povrchu listu	32
4.3 Opravy poškození špičky listu	33
4.4 Opravy polyuretanových laků	34
4.6 Opravy poškození sestavy odmrazování listu vrtule	39
4.7 Opravy poškození na vnější kovové části kořene listu	41
4.8 Oprava poškození nebo opotřebení vrtulové hlavy v místě pro ložiska vrtulového listu	43
4.9 Statické vyvažování kompozitních listů a kompozitních vrtulí	44
4.10 Odlišnost pro letoun SAAB 2000	46
5. Vylepšení technologických postupů oprav vrtule	50
5.1 Rozbor potřebného vylepšení	50
5.2 Návrh samoprotáčecího stojanu s vyvažovačkou	51
5.3 Realizace samoprotáčecího stojanu	51
5.4 Realizace vyvažovačky	59
5.5 Umístění samoprotáčecího stojanu s vyvažovačkou v opravárenské hale	61

6. Závěr	62
6.1 Zhodnocení cílů.....	63
7. Seznam použitých pramenů	64
8. Seznam příloh	66

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Název česky	Název anglicky
AC	Střídavý proud	Alternating Current
ARA	Asociace pro výzkum letadel	Aircraft Research Association
ARA - D	Profil listu vyvinutý firmami Dowty a ARA	Aircraft Research Association – Dowty
CFRP	Plasty vyztužené uhlíkovými vlákny	Carbon Fibre Reinforced Plastic
CNC	Počítačové číslicové řízení	Computer Numerical Control
CRENETTE	Speciální vazač na výrobu vyztužených kompozitních vrstev	
DC	Stejnoseměrný proud	Direct Current
LED	Světlo emitující dioda	Light Emitting Diode
LEGBR 9134	Přístroj pro lepení ochrany náběžné hrany	Leading Edge Guard Bond Rig
NACA	Národní poradní výbor pro letectví	National Advisory Committee for Aeronautics
NDT	Nedestruktivní zkoušky	Non Destructive Testing
TLC412	Řídicí jednotka pro krokový elektromotor	
VPD	Vzletově přistávací dráha	
VRDM 31122	3fázový krokový elektromotor	

1. Úvod

Vrtule je jedním ze zařízení, jehož principiální původ sahá daleko do historie. První návrh provedl již na přelomu 15. a 16. století Leonadro da Vinci. Jednalo se o jakýsi vzdušný šroub, který měl rotaci kolem své osy nadnášet vrtulník. Praktickému využití vrtulí se však lidstvo těšilo až na přelomu 19. a 20. století. Materiálem používaným pro výrobu prvních vrtulí bylo dřevo. S postupem času bylo potřeba pevnějších vrtulí pro čím dál tím výkonnější letecké motory, a tak se od dřeva upustilo. Na scénu nastoupily kovové vrtule, které vynikaly hlavně svou pevností. Pokrok se ovšem ani zde nezastavil, a v 80. letech již bylo běžné použití kompozitních vrtulí. Ty jsou v podstatě kompromisem mezi pevnostními a hmotnostními požadavky. Se zdokonalováním jejich konstrukce šlo ruku v ruce i zdokonalování technologie oprav a údržby. Aby bylo možno provést bezpečný let, musí být známy metody, kterými se provádí zjištění a oprava případných poškození. Pečlivým sledováním stavu pomocí předepsaných metod a prováděním pravidelné údržby vrtule během provozování letadla je možno podchytit vznik poškození už v jejich prvopočátku a tím mnohonásobně zvýšit bezpečnost. Ta je totiž prvořadým požadavkem cestujícího.

1.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je poskytnout ucelený přehled o problematice technologie oprav listů vrtule. Seznámením s konstrukcí vrtule a nejčastějšími poškozeními, které vznikají během provozování na vrtulích letounů SAAB 340 a SAAB 2000 a způsoby provedení jejich opravy pak osvětlit čtenáři blíže tuto problematiku. Dále na základě rozboru navrhnout potřebné vylepšení technologických postupů oprav vrtule a nastítnit jejich možnou realizaci s ohledem na snížení nákladů na provádění údržby vrtule, zvýšení efektivnosti a úsporu času.

2. Poškození vrtule a jejich specifikace

2.1 Vrtule všeobecně

Když se řekne vrtule, rozumí se tím lopatkový stroj, jež je složen nejčastěji z 2-8 lopatek. V letecké terminologii je ovšem záhodno používat místo výrazu lopatka vrtulový list. Jelikož vrtulové listy rotují okolo hřídele motoru, musí být něčím pospojovány. V tomto případě hovoříme o vrtulové hlavě. Ta pak přenáší tah vytvořený na vrtuli na hřídel motoru a pomocí motorového lože na celé letadlo. Letecká vrtule je zařízení, které slouží k přeměně energie mechanické dodávané motorem na energii kinetickou, využívanou k vyvození tahu, jež potřebujeme k pohybu letadla. Je prvkem sekundární konstrukce letounu a je pro letoun velmi důležitá. Jsou na ni proto kladeny vysoké nároky na údržbu.

Tah vrtule je síla, která je vytvářena vlivem činnosti vrtule a to bez chemických reakcí ani nutnosti dodávání dalších prvků. Vzniká jen urychlením vzduchu procházejícího diskem vrtule (je to kruh vymezený drahami špiček vrtulových listů). Tah je též definován jako rozdíl tlaku před a za diskem vrtule a je součtem aerodynamických sil působících ve směru osy vrtule na každý rotující list. Rotující list je v podstatě obdoba křídla, neboť má obdobný profil, akorát zkroucení listu vrtule je oproti křídlu větší. Existují dva způsoby vyvození tahu o stejné velikosti. Prvním je urychlení malého množství vzduchu na velkou rychlost, druhý spočívá v urychlení velkého množství vzduchu na malou rychlost. Prvního způsobu se využívá u reaktivních proudových motorů. Nevýhodou tohoto způsobu získávání tahu je hluchost, která je při druhém způsobu podstatně nižší. Vrtule tedy urychluje velké množství vzduchu na relativně malou rychlost.

Použití vrtule v leteckém průmyslu je k levnému pohonu letadel, jejichž rychlost letu se pohybuje do $800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vrtuli můžeme upevnit jak na pístový motor, tak také na motor turbínový. Tím nám vznikne turbovrtulová pohonná jednotka.

Základní charakteristiky vrtulí

Charakteristiky vrtulí rozdělujeme:

- **Geometrické charakteristiky**

Je to soubor rozměrových veličin, které definují vrtuli jako hmotnou součást. Na základě těchto veličin je možno vrtuli vyrobit.

- **Aerodynamické charakteristiky**

Vlivem obtékání proudem vzduchu pod určitým úhlem náběhu vznikají na profilu listu vrtule aerodynamické síly. Tyto síly pak lze rozložit na složku tahu a kolmou složku odporu. Pomocí aerodynamických charakteristik můžeme vypočítat velikost tahu a výkonu na vrtuli. Ke zvýšení přehlednosti se aerodynamické charakteristiky vynášejí do grafů.

2.2 Vrtule letounu SAAB 340

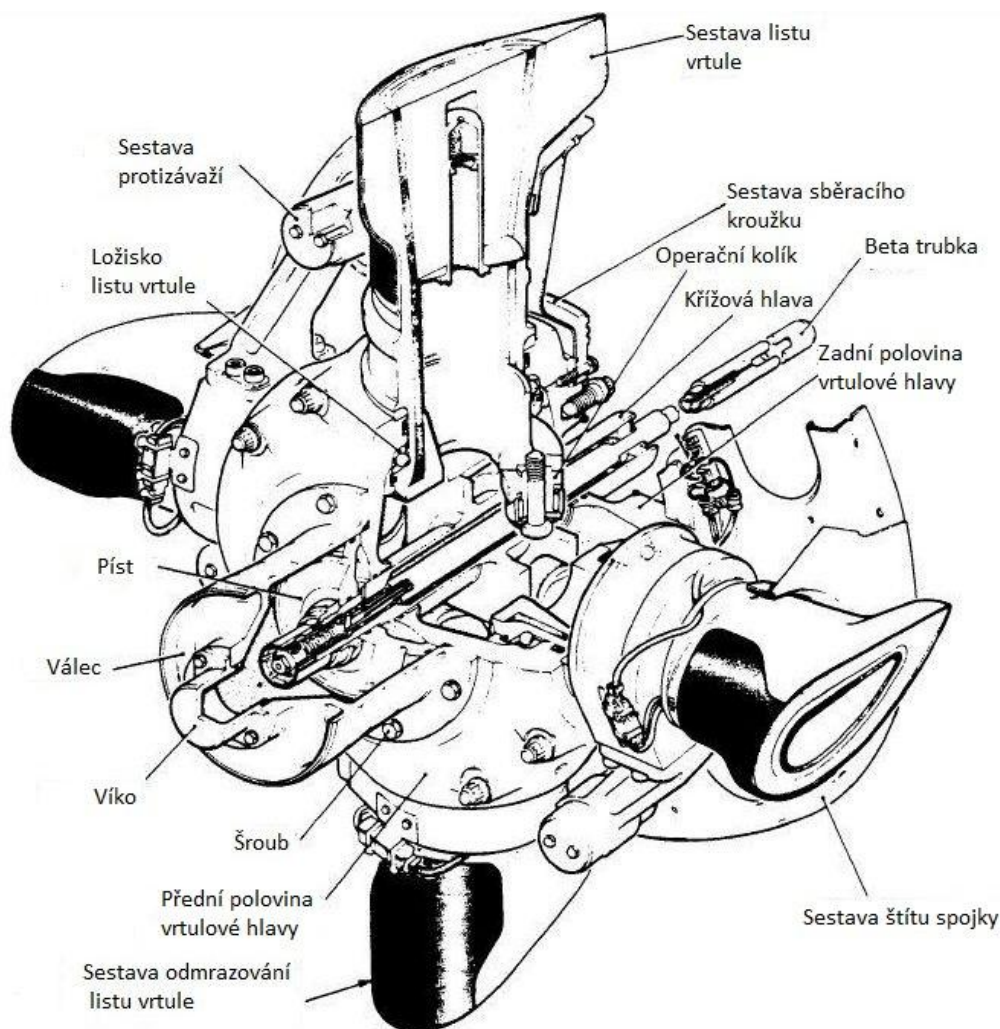
Vrtule je 4listá, s konstantní rychlostí a proměnným nastavením listů. Listy jsou vybaveny odmrazováním a jsou upevněny ve vrtulové hlavě (viz příloha *Obr. A1*). Úhel nastavení listů je ovládán hydraulicky pomocí 2 soustředných olejových válců.

Vrtulová hlava

Vrtulová hlava se skládá z přední a zadní poloviny, které jsou spojeny dohromady osmi šrouby. Na zadní polovině vrtulové hlavy (viz *Obr. A3*) se nachází 12 otvorů se závitem, sloužících k připevnění k motoru. Dále se na zadní polovině nachází dva otvory bez závitu, které slouží ke správné orientaci při nasazení vrtule na hřídel motoru. Na přední polovině hlavy (viz *Obr. A2*) se nachází 8 děr se závitem k připevnění válce pomocí šroubů. Aby nedocházelo k úniku pracovní kapaliny válce, je mezi přední polovinu hlavy a válec vložen těsnicí O-kroužek. Ve složeném stavu má hlava 4 otvory pro vrtulové listy, každý otvor je pak těsněn (viz *Obr. A4*), aby nedocházelo k úniku maziva z ložiska listu vlivem odstředivé síly při rotaci vrtule. Na válci je připevněno 4mi šrouby víčko. Křížovou hlavou prochází beta trubka, jež je složena z vnější a vnitřní sestavy, nastavovacího prvku, pružiny, zamykacího kolíku a dvou pružinových kolíků. Sestava příruby zahrnuje kontakty a kabeláž pro napájení elektrického odmrazování vrtulí.

Vrtulové listy a ložiska

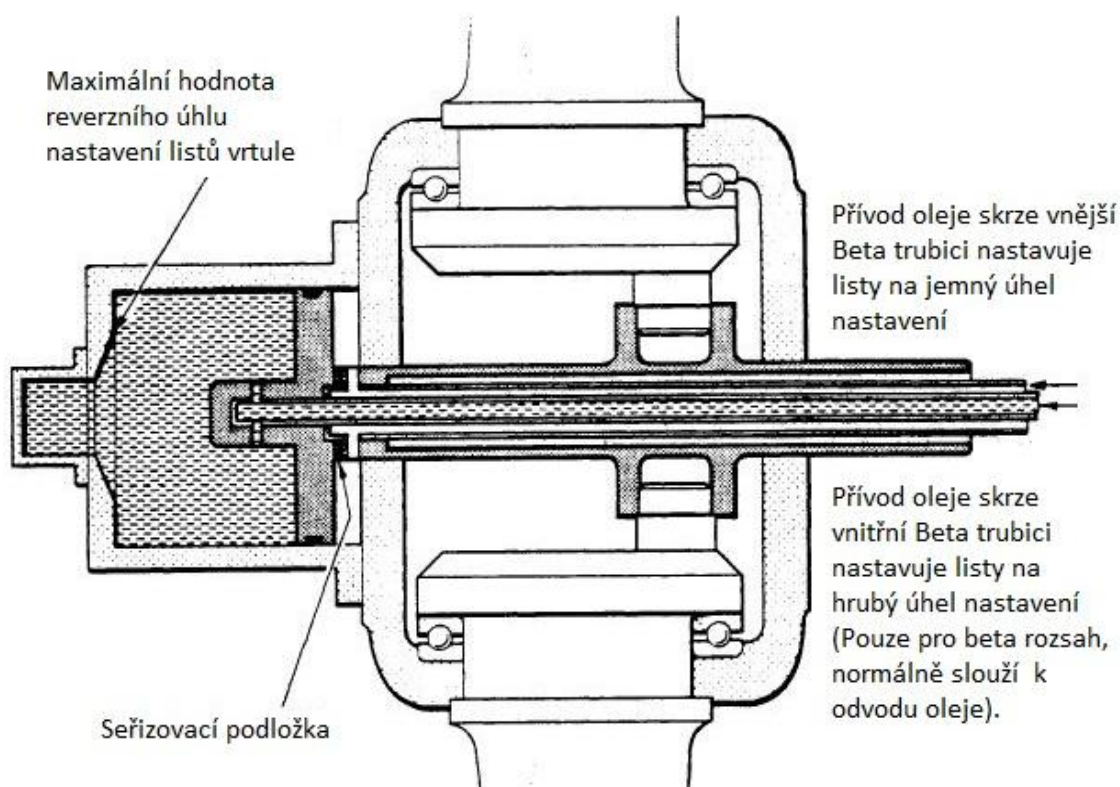
Vrtulové listy jsou vyrobeny ze skelného vlákna vyztuženého pruhy laminátových uhlíkových vláken a jádra z polyuretanové pěny. Povrch listů je pokryt polyuretanovým nástřikem. Ve spodní části listu, nad kořenem, se nachází integrální manžeta (viz *Obr. B4*). Uchycení lisu vrtule v kovovém kořenu je provedeno pomocí vnějšího rozšířeného klínu. Každý list je individuálně vyvážen v kořenové části. Je tak dosaženo pomocí olovené vlny v tubě, která je v kořeni listu a je zajištěna gumovou záslepkou. Operační kolík s jehlovým ložiskem a kladkou je připevněn ke každému konci kořene listu vrtule. Operační kolík je ovládán křížovou hlavou (viz *Obr. A5*). Sestava odmrazování vrtule je připevněna ke každému listu a připojena pomocí kabelu ke kluznému kroužku. Sestava protizávaží je připevněna ke každému listu a pomáhá při změně úhlu nastavení listu vrtule. Řez vrtulovou hlavou je na *Obr. 2.1*.



Obr. 2.1 Řez vrtulovou hlavou letounu SAAB 340

Princip činnosti (Obr. 2.2)

- Olej je přiveden do válce vrtule skrze dvě soustředné beta trubky. Vnější trubka přivádí olej za píst a tím mění úhel nastavení listů vrtule. Vnitřní trubka přivádí olej před píst a vrací nastavení listu zpět.
- Vysokotlaký olej dodávaný za píst nastavuje úhel listu vrtule na menší hodnotu. Zvýšení tlaku oleje pohne pístem a dosáhne se plně reverzní pozice.
- Vysokotlaký olej dodávaný před píst nastavuje úhel listu vrtule na větší hodnotu. Pokud tlak oleje zvýšíme, dojde k nastavení listů vrtule do tzv. praporu.
- V případě selhání dodávky tlakového oleje protizávaží nastaví listy vrtule na bezpečný úhel.



Obr. 2.2 Princip hydraulického stavění listů vrtule

Technické údaje:

- Počet listů = 4
- Průměr = 3,4 m (132 in)
- Hmotnost = 97,07 kg (214 lb)
- Praporovací úhel = $83^{\circ}05'$ až $83^{\circ}25'$
- Reverzační úhel = $-17^{\circ}54'$ až $-24^{\circ}33'$

- Mazací olej = Esso Turbo 2380, Mobil Jet 2, Exxon 2380 nebo BP Turbo Oil 2380, DERD 2499 (MIL-L-2369B)

Design vrtulového listu

Přibližně před 40 lety byly vrtulové listy vyráběny ze dřeva. Dřevo jako takové, je v podstatě přírodní kompozit. Po druhé světové válce byly dřevěné listy nahrazeny listy vyrobenými z hliníkových slitin. Stalo se tak z důvodu vyšších nároků na pevnost vrtule. Dříve používaný materiál – dřevo – měl sice špatný poměr pevnost/hmotnost, ale měl dobrou odolnost vůči únavě a byl tolerantní vůči drobným poškozením.

Ideální materiál pro výrobu vrtulového listu by měl být lehký, odolný vůči únavě a měl by mít schopnost tolerovat lehké poškození. Použitím kompozitních materiálů na konstrukci listu se přiblížíme k výše uvedeným požadavkům. Největší výhodou v použití kompozitních listů je jejich nízká hmotnost. V konečném důsledku pak ve srovnání kompozitních listů s listy kovovými mají kompozitní listy menší hmotnost při stejném průměru vrtule.

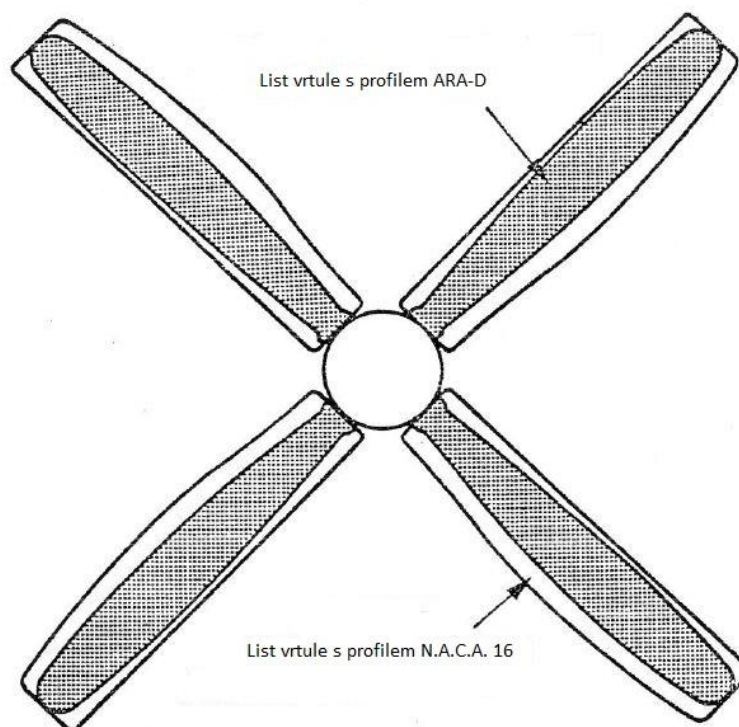
Tyto vrtulové listy nemají v konstrukci profilu listu kovový materiál, což značně snižuje zatížení vlivem odstředivých sil. Tato skutečnost pak znamená i snížení hmotnosti vrtulového náboje a ložisek, protože se sníží namáhání. Výhodou je také, že kompozitní listy mají lepší schopnosti tlumení vibrací a nikdy u nich nenastane rezonance, za předpokladu dodržení předepsaných otáček na vrtuli.

Profilové sekce A.R.A.

Po dlouhou dobu byly pro list používány profilové sekce NACA 16. Firma vyrábějící vrtule Dowty však přemýšlela nad použitím lepšího profilu, který by byl použit speciálně jen pro vrtulové listy. Společnou snahou se při kooperaci s firmou Aircraft Research Association podařilo vyvinout profil označený jako ARA-D. Tyto profilové sekce vytváří pomyslnou rodinu a mají vyšší únosnost a lepší poměr tah/odpor, než konvenční sekce. ARA-D profily jsou štíhlejší, mají kratší třetinu a tupou odtokovou hranu.

Výhodami ARA-D profilu jsou:

- Nižší hmotnost vzhledem k menším rozměrům
- Vyšší vzletový výkon a lepší stoupání
- Vyšší rychlost, při které by došlo k flutteru
- Nižší odpor
- Nižší hladina hluku

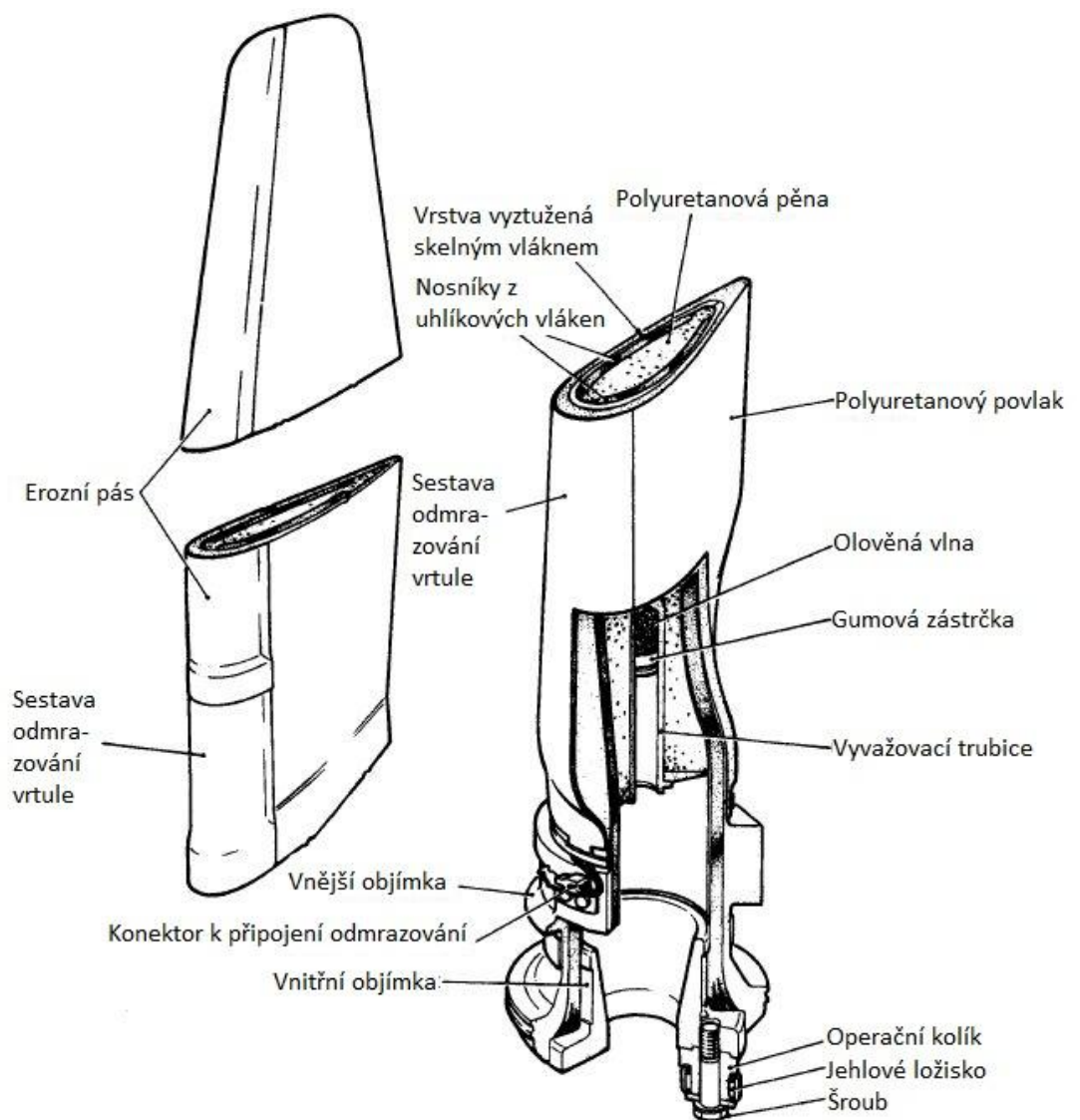


Obr. 2.3 Porovnání vrtulových listů s různými profily

Profil typu ARA-D nám neposkytuje o moc lepší výkon v cestovním režimu, zato v režimu vzletu a stoupání jsou rozdíly značné. Vrtulový list je díky dobrému poměru tloušťka/tětiva tužší z hlediska torzního namáhání (*Obr. 2.3*).

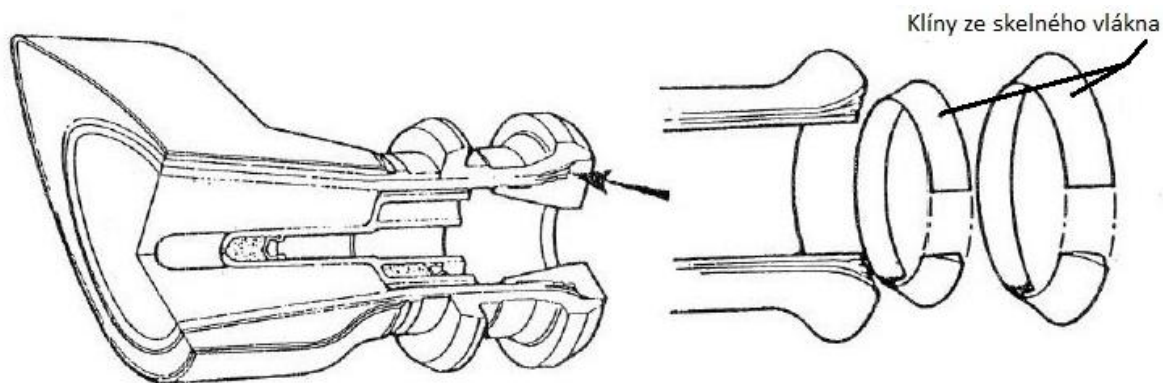
Konstrukce listu vrtule letounu SAAB 340

List je celokompozitové konstrukce s kovovými komponenty soustředěnými do kořene listu (viz *Obr. 2.4*). Důvodem je nutnost upevnění listu do náboje vrtule.



Obr. 2.4 Konstrukce listu vrtule letounu SAAB 340

Hlavními nosnými prvky jsou plastové materiály vyztužené uhlíkovými vlákny (CFRP), které jsou v podstatě po celé délce listu, vyjma pár milimetrů špičky listu. Nosné prvky jsou směrem ke špičce listu zeštíhleny (viz *Obr. B2*). Tyto nosné prvky přenášejí zatížení od odstředivých sil a ohybové momenty od aerodynamických sil. Skořepina je vyrobena z plastů vyztužených skelným vláknem. Vlákná jsou na sebe skládána pod úhlem 45° na většině konstrukce listu. Jako výplně skořepiny je použito speciálně vyvinuté polyuretanové pěny (viz *Obr. B1*).



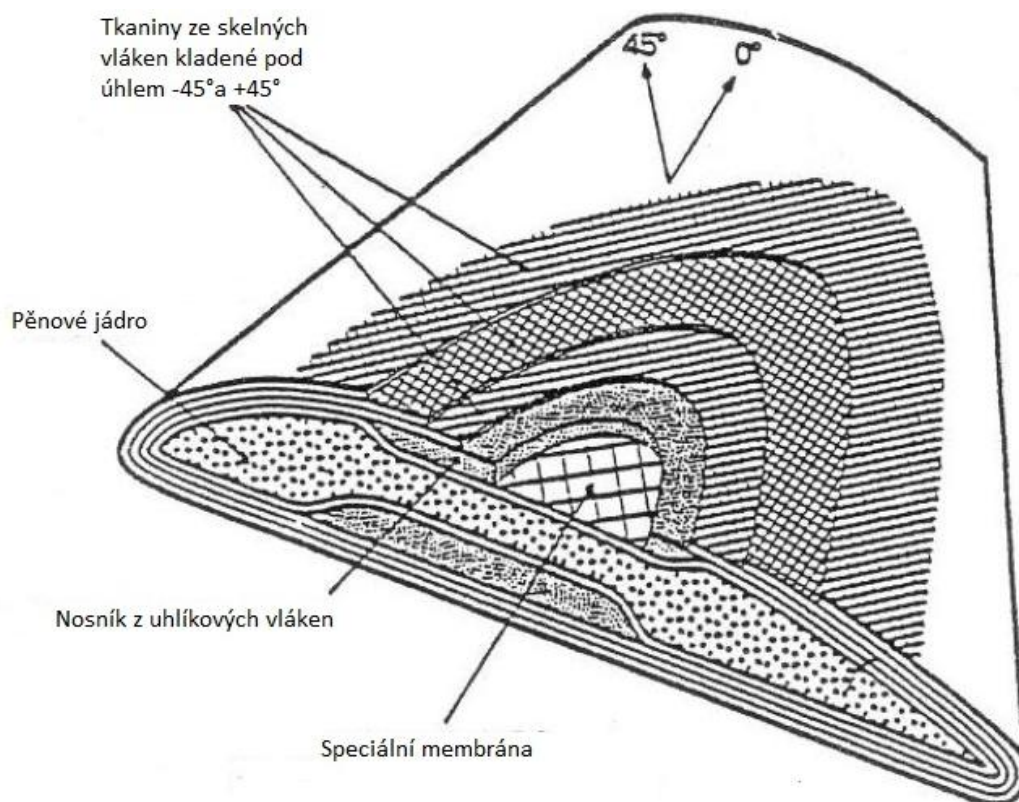
Obr. 2.5 Způsob připevnění kompozitu ke kovové části kořene listu vrtule

Cílem designu je zajistit, aby kovové části udržely kompozitní materiál. Toho je dosaženo pomocí prstencového klínu (Obr. 2.5). Uhlíkové nosníky jsou deskového tvaru a prochází skrze přechod do válcového tvaru, který je vložen do kovové vnější kořenové části (viz Obr. B3). Kruhové klíny vyrobené ze skelných vláken jsou vloženy mezi vrstvy uhlíkových vláken před impregnací pryskyřicí. Celý list je pak nastříkán polyuretanem a náběžná hrana je chráněna proti erozi (kovovým páskem nebo polyuretanovým gumovým pásem). V porovnání s listy z hliníkových slitin mají kompozitní listy tyto výhody:

- Úspora hmotnosti (cca 55 kg pro vrtuli čtyřlistou o průměru 3,4 m)
- Velká odolnost vůči poškození bez výskytu únavových prasklin
- Snadná opravitelnost i po velkém poškození
- Možnost navrhnout tuhost listu tak, abychom zabránili rezonanci
- Redukce momentů vzniklých stavěním listu

Výroba

Výroba kompozitních listů je prováděna pomocí suchých stádaných jednosměrných uhlíkových pásů a předlisků skelné tkaniny. Tato technologie využívá speciálního vazače (CRENETTE) k vyztužení vrstev tak, že je lehce spojí dohromady. Tato metoda vyúsťuje v rychlou sestavu přesných předlisků, které mohou být skladovány neomezeně dlouhou dobu za pokojové teploty. Tyto předlisky jsou pak sestaveny dohromady a je z nich vyroben list vrtule.



Obr. 2.6 Řez vrtulovým listem

Speciální membrána na předlisku zabraňuje suché výztuze, aby byla impregnována pěnou, a také poskytuje dobré mezivrstvé spojení (Obr. 2.6). Poté je pěnou vyplněný předlisek vyjmut z formy a je sestavena vnější kořenová část a klíny ze skelného vlákna, společně s výztuhami náběžné hrany a hliníkovým lemem, který slouží jako ochrana proti blesku. Následuje aplikace pryskyřice. Tento proces je realizován ve vertikální pozici formy listu, kdy kořen listu je navrchu. Abychom snížili viskozitu během vstřikování pryskyřice, je forma zahřívána vnitřním vodním topením. Teplota je zaznamenávána snímači, aby bylo možno doložit parametry při výrobě. Konec kořene listu je připojen na vakuovací zařízení a špička k trubici s přívodem pryskyřice. Volba epoxidové pryskyřice byla provedena na základě její nízké viskozity a dlouhé životnosti spojené s výbornými mechanickými vlastnostmi. Jakmile je forma naplněna pryskyřicí až po výstupní připojení, vakuum je náhle odpojeno. Toto má efekt okamžitého natlakování pryskyřice ve formě a dojde tak k úplnému zaplnění případných nezaplněných částí formy. Finální tlakování pryskyřice se uskutečňuje při rosolovatění pryskyřice, které dále zabrání vzniku prázdných míst. Po vytvrzení, které musí trvat předepsanou dobu, se list vyjme z formy a dokončí

pomocí diamantově vyztužených nástrojů. Kořenová část je opracována, aby bylo možno připevnit vnitřní kovovou část, která je přilepena a tím se dokončí klín. Abychom zajistili erozní ochranu, je list nastříkán polyuretanovým elastomerem o tloušťce 0,6 mm pomocí robotického zařízení. Vyměnitelný niklový pás na náběžné hraně a odmrazovací prvky jsou přilepeny na své místo a list je hotov.

Tato metoda výroby listu má následující výhody:

- Listy mohou být zformovány v jednom kroku a je včleněna kovová část
- Materiály mají dlouhou dobu uskladnění při pokojové teplotě
- Frekvence vlastních kmitů mohou být laděny přidáváním nebo ubíráním materiálu ve stádiu vývoje bez nutnosti modifikovat nástroje
- Nízkonákladové nástrojové vybavení

2.3 Limity poškození listu vrtule

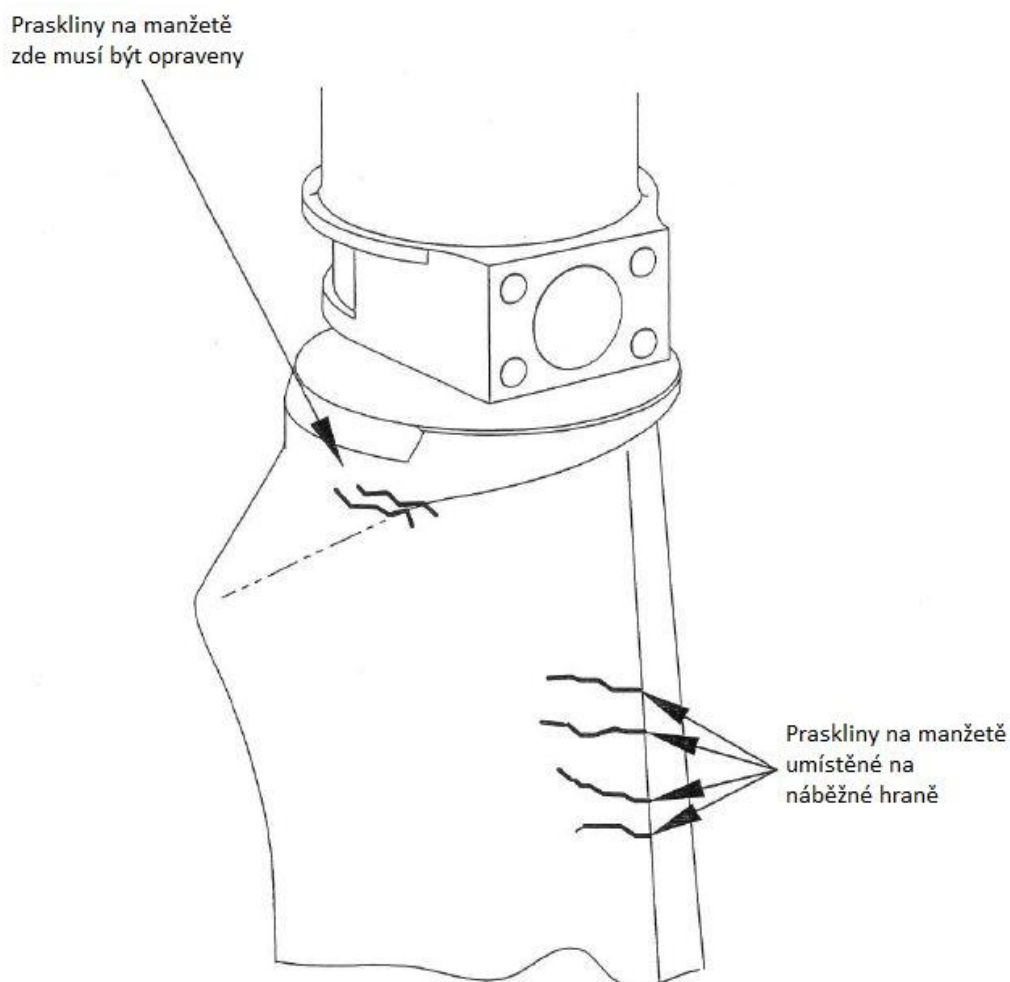
Poškození listu vrtule za provozu nejčastěji vzniká stykem s cizími předměty. Těmito předměty jsou většinou drobné kamínky, nebo písek, který způsobuje erozi. Uvedená poškození se mohou vyskytnout jak na erozním pásu, tak na pásu odmrazování či povrchu listu.

1) Poškození povrchu listu

Malé škrábance na povrchu listu mohou zůstat bez opravy do té doby, než se budou provádět větší opravy, nebo revize. Jakmile je poškození povrchu svým plošným rozsahem větší, než 1 cm² nebo více, je doporučeno provést při nejbližší příležitosti opravu. Pokud bychom na opravu takovýchto poškození nedbali, výsledkem bude nutnost provádět rozsáhlejší opravy listu, které vyjdou draž.

Mezi povrchové poškození se řadí též **praskliny na manžetě** (viz *Obr. C2*) (aerodynamický zákryt kořene listu). Tyto ale nejsou vážnou závadou, jelikož se vznikem v této oblasti neporuší integrita konstrukčních částí. Problém je tedy čistě kosmetickou závadou. Opravy prasklin na odtokové hraně se provádí tedy hlavně z důvodu toho, že by mohlo dojít k vniknutí kapaliny. Tímto by se zvýšila hmotnost listu a došlo by tak k nevyváženosti vrtule, která po čase způsobí poškození vrtule.

Pokud jsou praskliny na náběžné hraně manžety, není potřeba provádět opravu mezi generálními opravami. Praskliny na základně odtokové hrany opraveny být musí (Obr. 2.7).



Obr. 2.7 Místa nejčastějšího vzniku prasklin v manžetě

2) Poškození erozního pásu

Důležité je zkontrolovat, zda je erozní pás řádně přilepen na list vrtule. Existuje metoda nedestruktivní technologie pro zjištění ztráty adheze mezi erozním pásem a listem vrtule, označená zkratkou NDT24. Tato metoda je založená na akustické bázi. Pokud nemáme zařízení k provedení této metody, můžeme použít tzv. metodu poklepání mincí (coin tap).

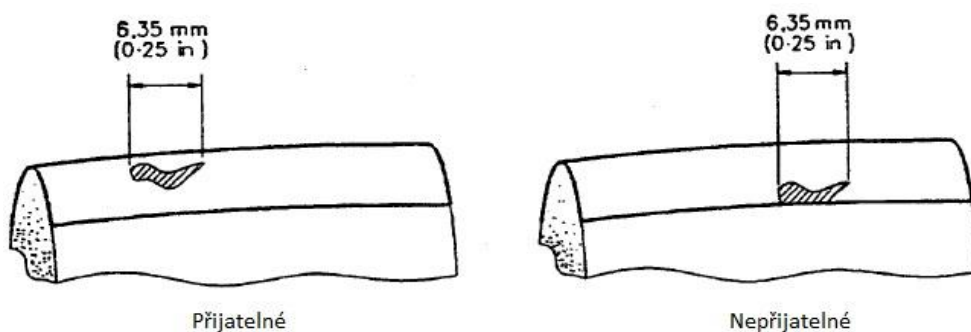
Coin tap metoda spočívá v lehkém poklepání kovovým předmětem (mincí) po celé ploše erozního pásu. Při poklepávání sledujeme změnu ve zvuku, který vzniká úderem mince na erozní pás. Místo, kde není lepený spoj dokonalý, se projeví odlišným zvukem

při poklepnutí. Odlepená místa se pak zaznačí a můžou porovnat s limitami pro takovýto druh poškození.

Limity poškození erozního pásu:

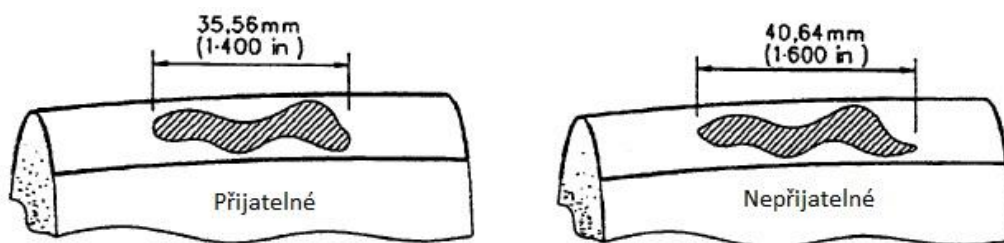
Poškození způsobené odlepením erozního pásu:

- pokud je odlepená oblast menší, než 6,35 mm, můžeme tuto skutečnost ignorovat. To neplatí, pokud se odlepená část této velikosti nachází na koncové hraně erozního pásu (Obr. 2.8).



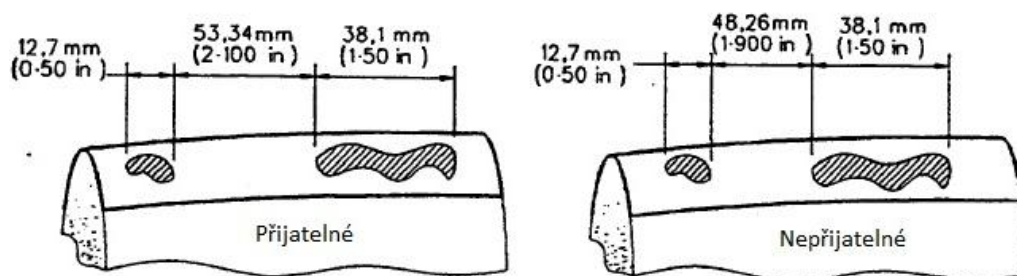
Obr. 2.8 Odlepení erozního pásu

- Pokud je odlepená oblast větší než 50,8 mm na koncové hraně erozního pásu, nesmíme takovýto list použít. Pokud je odlepená oblast menší, jak 50,8 mm, je nutno provést opravu.
- List vrtule nesmíme použít, jestliže odlepená část je větší, než 38 mm na délku, měřená všemi směry (Obr. 2.9).



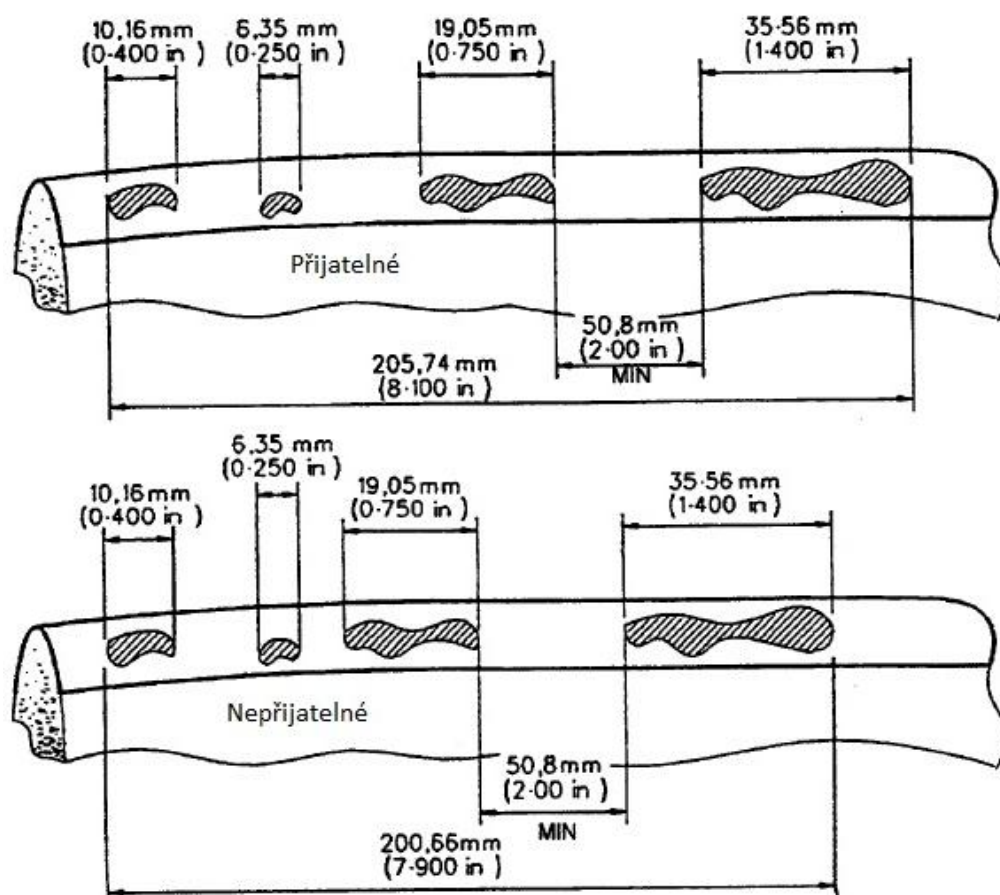
Obr. 2.9 Odlepení erozního pásu

- List vrtule nesmíme použít, pokud jsou odlepené oblasti větší, než 12,7 mm a menší, než 38 mm na délku měřenou všemi směry a jsou méně než 50 mm od sebe (viz Obr. 2.10).



Obr. 2.10 Odlepení erozního pásu

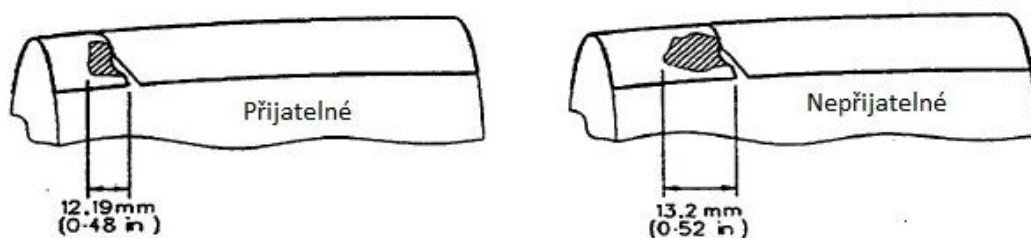
- List vrtule nesmíme použít, pokud je více odlepených částí větších jak 6,35 mm na délce větší než 203,2 mm (Obr. 2.11).



Obr. 2.11 Odlepení erozního pásu

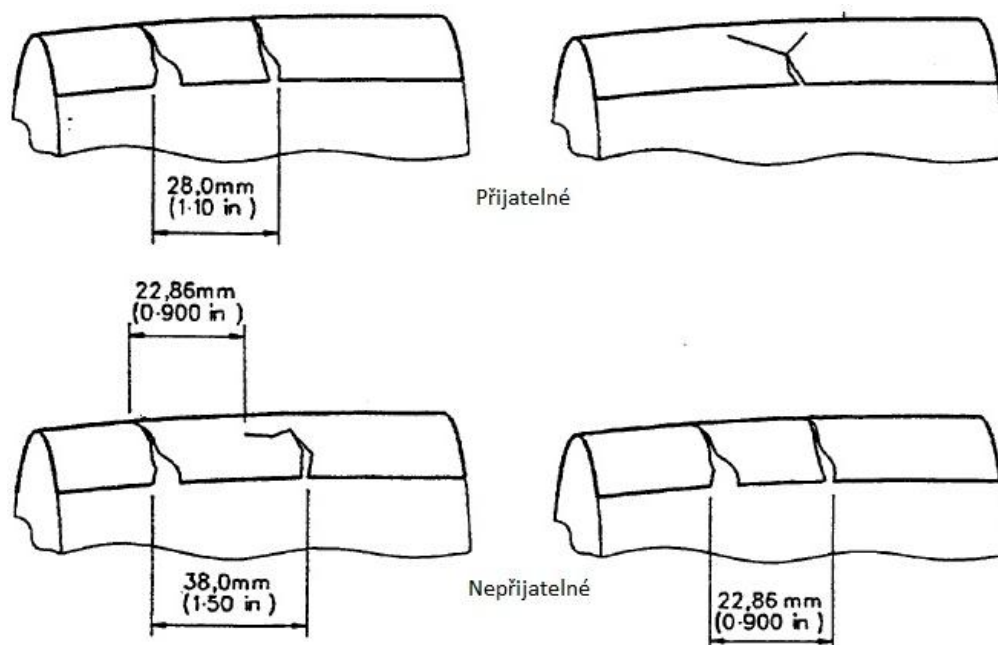
Praskliny na erozním pásu:

- Praskliny na erozním pásu nemusí být vždy dostatečným důvodem k vyřazení listu vrtule. Rozhodující je počet a pozice prasklin (viz Obr. C4).
- List vrtule nesmíme použít, pokud je odlepená část větší jak 12,7 mm přilehlá k prasklině. Odlepené části pod tuto hodnotu musí být opraveny (viz Obr. 2.12).



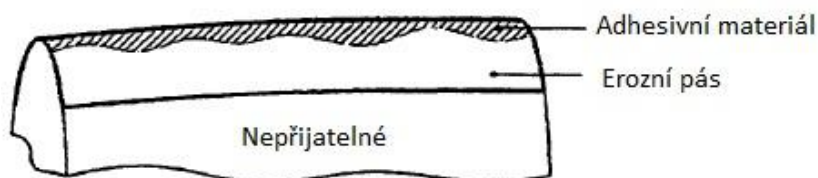
Obr. 2.12 Prasklina s odlepením erozního pásu

- List vrtule nesmíme použít, pokud jsou jakékoliv 2 praskliny méně než 25,4 mm od sebe tak, že by se část pásu mohla oddělit (Obr. 2.13).



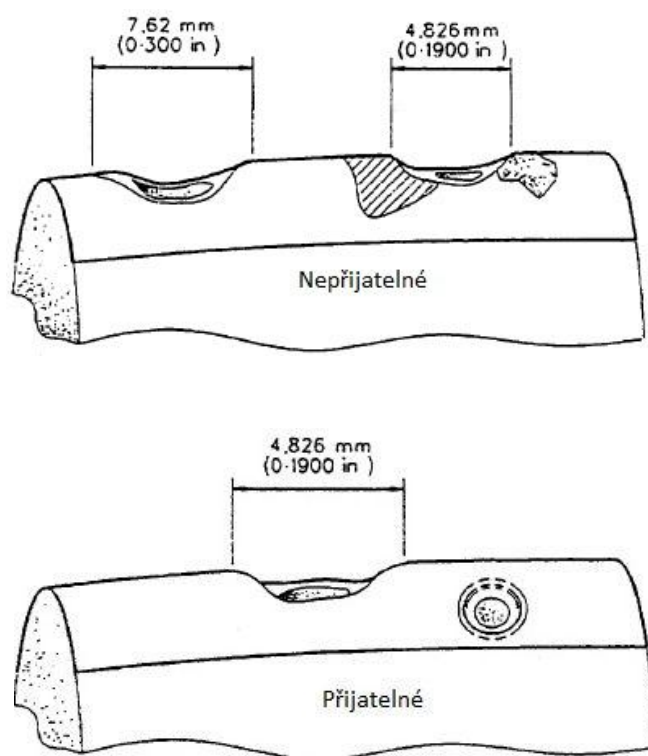
Obr. 2.13 Praskliny erozního pásu

- List vrtule nesmíme použít, pokud je erozní pás opotřebovaný tak, že je adhesivní materiál, kterým byl pás přilepen, vidět (Obr. 2.14).



Obr. 2.14 Opotřebovaný erozní pás

- List vrtule nesmíme použít, pokud jsou v erozním pásu díry (viz *Obr. C1*) větší než 5,08 mm v průměru, nebo pokud je menší díra spojena s odlepením pásu nebo pokud je kus erozního pásu ulomen. Díry menší, než 5,08 mm musí být opraveny (*Obr. 2.15*).



Obr. 2.15 Děravý erozní pás

- Pokud byl erozní pás trefen předmětem a je prohnut, je doporučeno kontaktovat výrobce vrtule.
- Praskliny v erozním pásu mohou zůstat nevyplněny, pokud metoda poklepu mincí, nebo jiná metoda ukazují, že lepený spoj je dobrý. Pokud erozní pás jeví jakékoliv známky odchlípnutí, musí být opraven co možná nejdříve. V době mezi jednotlivými opravami musí být odlepená část erozního pásu přelepena páskou Fasson Stoneguard 2000 nebo 3M 8561. Pokud takovouto závadu podchytíme přelepením páskou zavčas, můžeme tím zabránit nutnosti vyměnit erozní pás za nový.

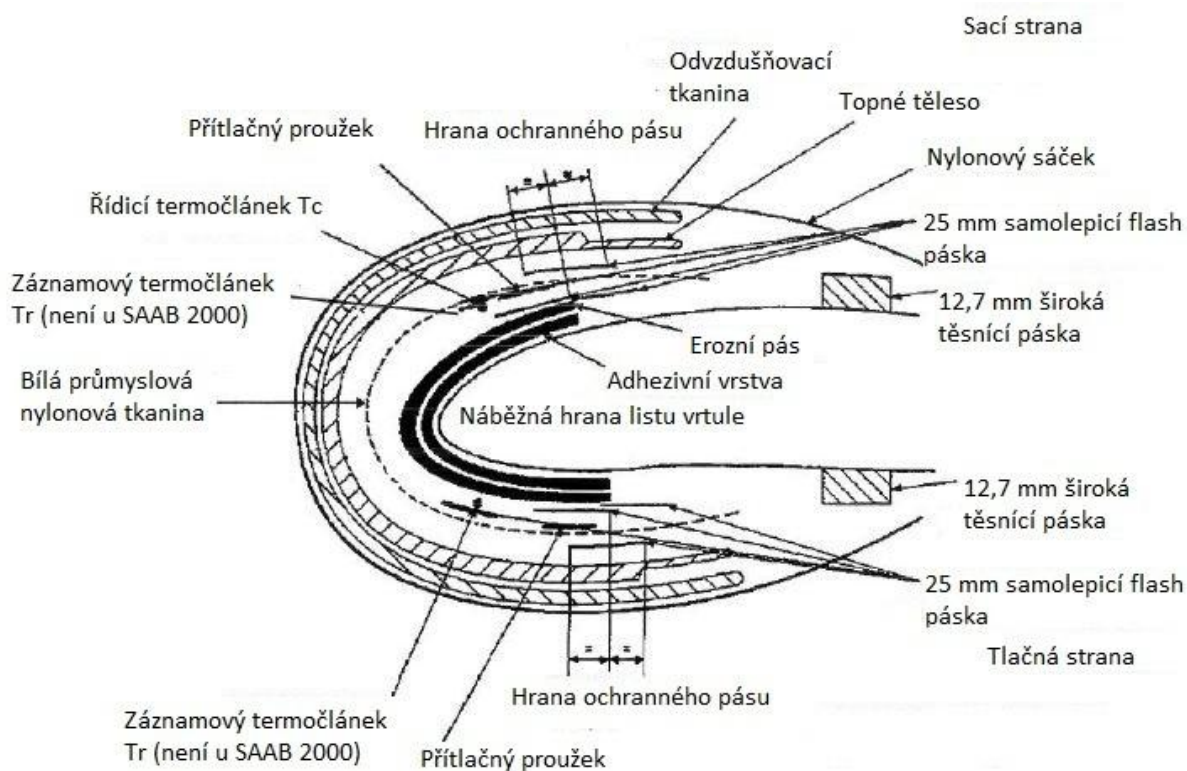
3. Prostředky a zařízení pro opravu vrtule

3.1 Výbava pro lepení ochrany náběžné hrany – přístroj LEGBR 9134

Přístroj pro opravu erozního pásu listu vrtule se používá při výměnách ochrany náběžné hrany listu vrtule (erozního pásu), pokud je jeho poškození tak velké, že již nelze provést opravu (viz *Obr. C3* a *Obr. C6*).

Při sestavování vacuum bagu (*Obr. 3.1*) a připojování kufříku musíme dbát následujících pokynů:

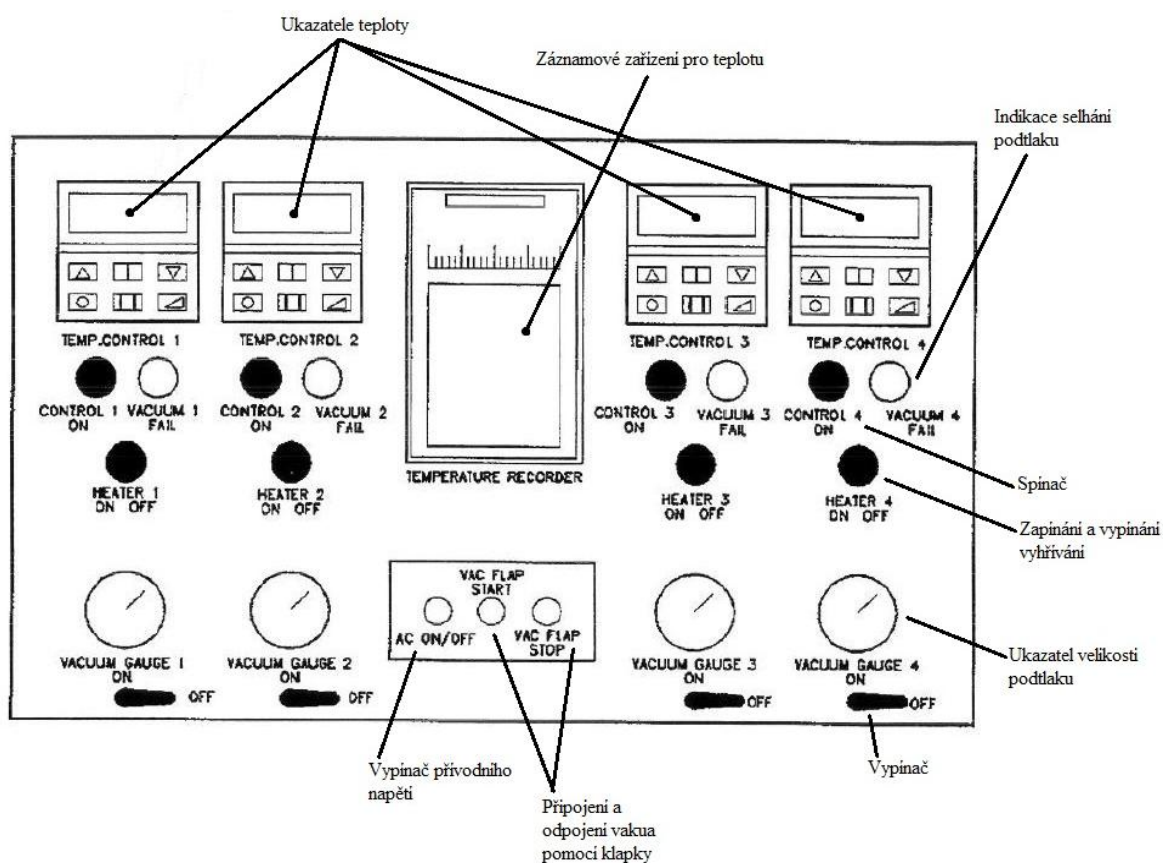
- Zaznamenávání dat na částech a materiálech do Check listu (Data Sheet DAP423), který je dodáván spolu s kitem pro výměnu erozního pásu.
- Ujistit se, že erozní pás pasuje dobře ke konci kořenu listu.
- Umístění kontrolních a záznamových teplotních senzorů musí být provedeno přesně dle manuálu, jinak hrozí špatné rozdělení tepla po povrchu listu.
- Musí být dodrženy rozměry odvodušňovací tkaniny.



Obr. 3.1 Sestava vacuum bagu

Dále je nutno dbát na použití správného typu topného tělesa pro daný typ vrtulového listu. Po připojení zařízení (kufříku) k napájecímu napětí a zapnutí zařízení se na červeném LED displeji zobrazí aktuální teplota listu vrtule (*Obr. 3.2*). Kufřík má v sobě od výroby nahrány řídicí a programové parametry a je připraven k použití. Pokud by ale kufřík byl ponechán bez napájecího napětí déle než 6 měsíců, dojde ke ztrátě dat. Stane se tak z důvodu vybití nabíjecí baterie, kterou má kufřík v sobě vestavěnou. V tomto případě musíme po připojení na napětí data a parametry znovu vložit.

Abychom proces spustili, vymáčkne přepínač označený R. Tímto se odstartuje přednastavený program, který poté poběží od začátku do konce. Přepínač označený R nesmí být po dobu procesu vypnut, protože by došlo k přerušení programu a tím ke znehodnocení opravovaného místa, popřípadě celého listu vrtule a oprava by se musela provést znova. Konec programu je indikován nápisem END na displeji. Teploty se zaznamenávají do grafu po celou dobu spuštění zařízení.



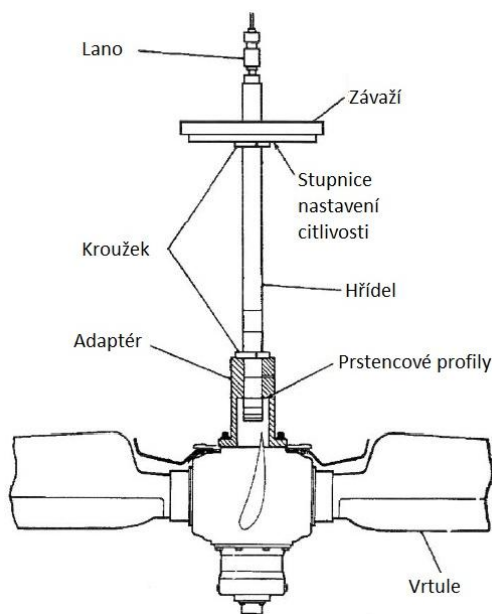
Obr. 3.2 Přístroj pro opravu erozního pásu listu vrtule

Parametry programu:

- SP (teplota startovního bodu) = 20°C
- SL1 (rychlost ohřívání) = + 10°C/min
- EP1 (teplota ukončení ohřevu) = 90°C
- SL2 (rychlost ohřívání) = + 2°C/min
- EP2 (teplota ukončení ohřevu) = 120 °C
- SL3 (rychlost ohřívání) = 0
- DL3 (dobu výdrže na stanovené teplotě) = 60 minut
- SL4 (rychlost ochlazování) = -5°C/min
- EP4 (teplota ukončení ochlazování) = 50°C
- SL5 (rychlost ohřívání) = 0°C
- DL5 (dobu výdrže na stanovené teplotě) = 0
- SF (segment funkce) = 1
- CC (počet cyklů) = 1

3.2 Vyvažovací zařízení typu Marvel

Toto zařízení slouží ke statickému vyvážení vrtule (*Obr. 3.3*). Po vykonání údržby, nebo provedení opravy na vrtuli je nutno ji staticky vyvážit, aby nedocházelo k nadměrným vibracím a tím k poškození ložisek.



Obr. 3.3 Váhová vyvažovačka typu Marvel

Po sestavení vyvažovacího zařízení a připevnění vrtule se celek zavěsí za lano (viz *Obr. D1*). Jakmile se celek ustálí, může se začít s vyvažováním. Stav vyvážení je indikován kruhovou mezerou mezi dvěma soustřednými kruhy v horní části vyvažovačky (viz *Obr. D2*). Statické vyvažování vrtule se provádí přidáváním závaží do jedné, nebo dvou rovin. Jedna rovina je tvořena sestavou štítu spojky vrtulového kužele a druhá je v místě připevnění hydraulického válce stavění listů vrtule k vrtulové hlavě. Na základě indikované nevyváženosti se pak vrtule vyváží. Šrouby použité k vyvážení na sestavě štítu spojky vrtulového kužele musí procházet skrze podložku, samojistnou matici a vyčnívat alespoň jeden a půl závitu. Po ukončení vyvažování je doporučeno vrtuli z vyvažovačky demontovat, pootočit o 180° a vyvážit znovu. Nesmí se přitom zasahovat do již připevněných vývažků a nové vývažky se pokládají na závaží připevněné k hřídeli. Jakmile je dosaženo rovnováhy, podělí se hodnota dočasných vyvažovacích závaží dvěma. Poté se vyváží vrtule již klasickým způsobem pomocí šroubů připevněných do štítu spojky vrtulového kužele. Vyvažování by se mělo provádět v uzavřených prostorech, kde je minimalizováno riziko průvanu, který by mohl celý proces ztížit a snížit jeho přesnost.

4. Stávající technologické postupy pro opravu vrtule

4.1 Oprava odlepeného erozního pásu

Odlepený erozní pás je na *Obr. 4.1*.



Obr. 4.1 Odlepený erozní pás

Při opravě je nutno dbát na bezpečnostní předpisy. Člověk provádějící opravu se musí vyvarovat styku s nebezpečnými chemikáliemi – na pokožce, očích, nevdechovat. Dále se s prostředky musí pracovat ve větraných prostorách a vyvarovat se kontaktu s otevřeným ohněm, neboť čisticí prostředky jsou jedovaté a hořlavé.

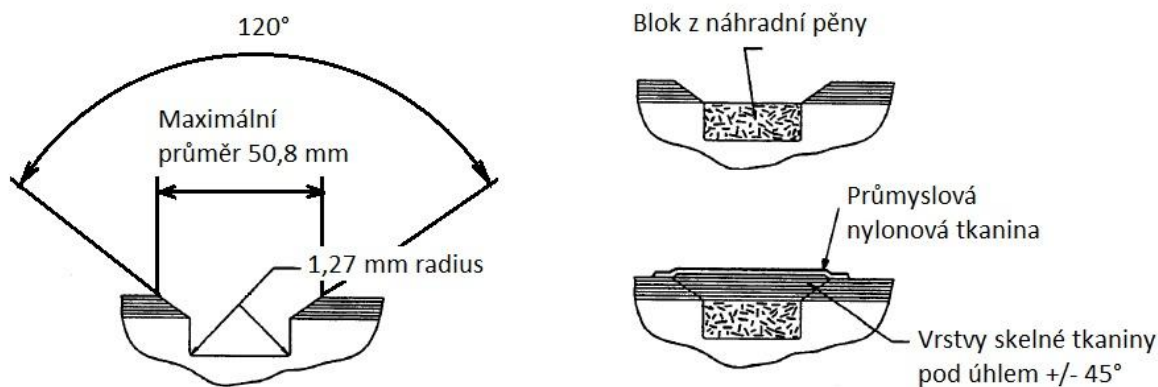
Postup spočívá v:

- očištění poškozené oblasti pomocí tkaniny, která nepouští chlupy a je napuštěna buď acetonem, methyl-ethyl ketonem, nebo rychleschnoucím uhlovodíkovým rozpouštědlem,
- následném osušení pomocí čisté tkaniny (antistatická utěrka),
- aplikaci adekvátního Loctitu mezi erozní pás a povrch listu vrtule a použití svorky k přidržení odlepené části,
- odstranění veškerého přebytečného Loctitu,
- ponechání Loctitu k zaschnutí po dobu 30 minut,
- provedení kontroly přilepeného erozního pásu pomocí malého kovového předmětu. Kontrola se provádí poklepáním kovovým objektem na lepené místo a sleduje se změna zvuku, který kovový předmět při úderu na erozní pás vydává. Nesprávné přilepení je pak touto změnou zvuku indikováno,
- aplikaci pásky k zabránění poškození opraveného místa. Tato páska se musí ponechat na listu vrtule nejméně 2 dny. Takto opravený list vrtule může být v provozu normálně používán, avšak páska musí po dobu 2 dnů zůstat přilepena.

4.2 Opravy poškození na povrchu listu

List vrtule se skládá z uhlíkových a skelných vláken. Uhlíková vlákna slouží jako nosník a jejich poškození nelze opravovat pomocí odebrání poškozeného materiálu a jeho nahrazení. Při opravách tedy můžeme akceptovat pouze poškození týkající se skelných vláken. Toto může zasahovat až do pěnové výplně (viz *Obr. 4.2*). O těchto opravách je nutno vést záznamy velikosti a umístění poškození.

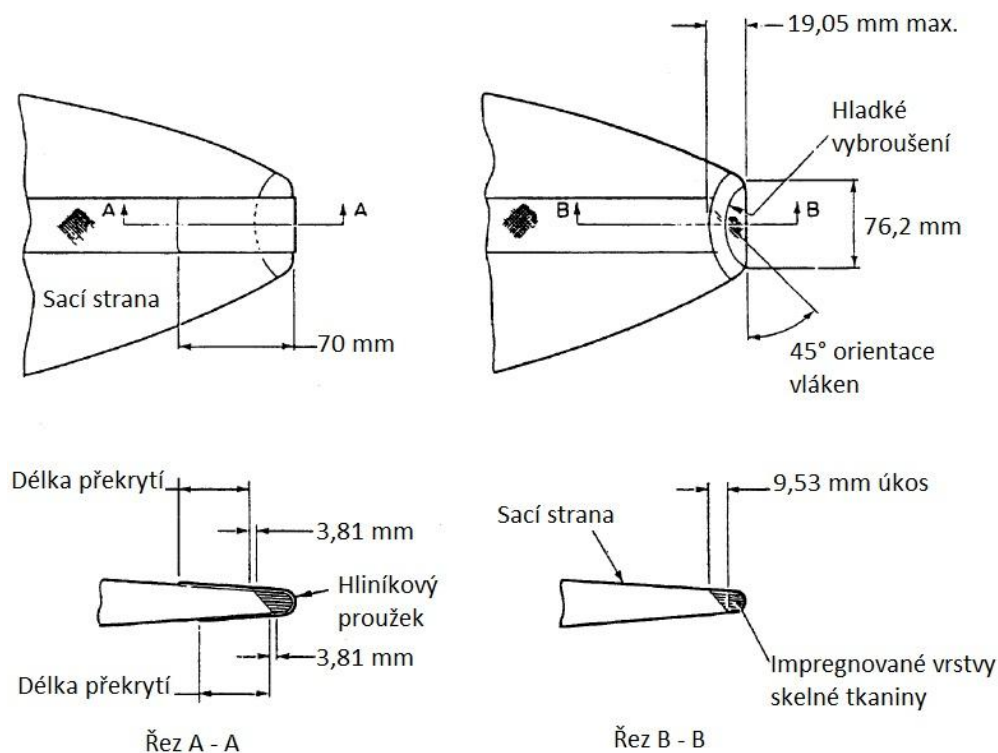
Postup opravy spočívá v odstranění zničené pěnové výplně. Zbytky po odstranění se vyfoukají suchým čistým stlačeným vzduchem. Z opravárenského pěnového bloku se vytvaruje odpovídající náhrada, která se poté do vybraného místa vlepí. Poškozené vrstvy skelného vlákna se zabrousí do kónusu tak, aby zabroušené plochy svíraly úhel 120° . Je potřeba zjistit počet vrstev skelné tkaniny ve vybroušeném místě. Všechny části a nástroje pro opravu musí být řádně čisté. Vytvoří se směs pryskyřice s tužidlem a aplikuje se první vrstva skelné tkaniny pod úhlem 45° vůči náběžné hraně listu vrtule. Tkanina musí být kompletně naimpregnovaná pryskyřicí před aplikací další vrstvy. Tento postup se opakuje až do té doby, než je počet vrstev shodný s nepoškozeným okolím. Dále se aplikuje průmyslová nylonová tkanina vystřižená do kruhového tvaru, aby bylo zajištěno, že vrstvy skelné tkaniny plně prosáknou pryskyřicí. Po vytvrzení se odstraní nylonová tkanina a opravené místo se zabrousí tak, aby kopírovalo přesně profil listu. Po odmaštění a očištění acetonem se doplní polyuretanová vrstva, a pokud je potřeba, tak se vymění i protierozní pás a odmrazování. Po přelakování následuje důsledná kontrola správnosti provedení opravy.



Obr. 4.2. Oprava poškození povrchu listu

4.3 Opravy poškození špičky listu

Před provedením opravy je zapotřebí odstranit jakýkoliv cizí materiál, jenž je přichycen k poškozenému místu a toto pak vyčistit pomocí acetonu. Dále následuje odstranění protierozního pásu a polyuretanového laku do takové úrovně, aby byl zajištěn bezproblémový přístup k poškozenému místu. Poškozenou oblast špičky listu a ochranného bleskového vodiče zapilujeme pilníkem tak, aby nedošlo k vyššímu úběru materiálu, než je nezbytné k odstranění poškození. Nesmí se přitom překročit maximální limit pro odebraný materiál (viz *Obr. 4.3*). Opracovaný povrch očistíme acetonem. Na zapilovaném místě je zapotřebí rozpoznat počet vrstev skelné tkaniny. Následuje aplikace Aralditu na opracovaný povrch a skelné tkaniny pod úhlem 45° na špičku listu. Tento postup se opakuje do té doby, než aplikujeme správný počet vrstev, jaký zde byl před odbroušením. Tímto postupem obnovíme odbroušenou špičku vrtulového listu. Vytvrzení pryskyřice (Araldit) trvá po určitou dobu, která závisí na parametrech okolního prostředí, jako je teplota a vlhkost ovzduší. Po vytvrzení lehce opracujeme povrch opravené části tak, aby kopírovala kontury okolního profilu listu. Aby bylo možno vložit ochranný bleskový vodič a byla zachována aerodynamická čistota listu, musí se v opravené části vyříznout zapuštění jak na tlačné (konvexní), tak na sací (konkávní) straně. Do vyříznuté části se vloží proužek z hliníkové folie, který je potřeba z jedné strany zabrousit a pomocí acetonu očistit. Tento proužek se pak zahne tak, aby kopíroval tvar listu a seděl ve vyříznutém zapuštění. Poté se aplikuje Eccobond pájka smíchaná s katalyzátorem na odhalený ochranný bleskový vodič a umístí se pásek z hliníkové folie zabroušeným povrchem směrem k listu vrtule. Konce se pojistí 3M polyuretanovou páskou. Vytvrzení trvá 1h při teplotě mezi 55 a 65°C . Do místa s odříznutým lakem dosadíme přesně vyříznutý polyuretanový materiál a taktéž doplníme i odříznutý protierozní pás. Nakonec je nutno provést zkoušky na elektrickou vodivost a ověřit, že oprava byla vykonána správně.



Obr. 4.3 Oprava poškození špičky listu

4.4 Opravy polyuretanových laků

Za provozu vzniklá poškození laku vrtulových listů je nutno opravovat. Důvodem je jednak zachování vzhledu a jednak zachování aerodynamických vlastností a ochrana proti korozi. Dojde-li někde na povrchu listu k poškození lakové vrstvy, je tím ohrožena životnost listu, neboť může snáze dojít ke korozi a dalšímu odlupování laku. Poškození laku může vzniknout nejčastěji při vzletu a přistání, kdy točící se vrtule rozvíří a nasaje drobné předměty, kterými mohou být kamínky z VPD nebo pojezděcí dráhy (viz Obr. C5). K největšímu poškození laku musí nutně docházet v oblastech, kde se vyskytuje písek.

Existují 3 metody oprav laků. Výběr té které metody závisí na rozsahu poškození a místě, kde bude oprava prováděna. Pro volbu opravy bereme také v potaz určité limity poškození, jejichž hodnoty jsou přibližné.

Metody jsou následující:

- Metoda 1 – Poškozená oblast je v rozmezí 2 cm^2 – 290 cm^2 . Opravy touto metodou jsou prováděny u výrobce.

- Metoda 2 – Poškozená oblast je v rozmezí $2\text{ cm}^2 - 290\text{ cm}^2$. Opravy touto metodou jsou prováděny opravárenskými středisky a provozovateli.
- Metoda 3 – Poškozené oblasti jsou menší než 2 cm^2 a jsou prováděny na namontované vrtuli nebo na svěšené vrtuli.

Jelikož oprava tohoto typu může způsobit újmu na zdraví, je potřeba dodržovat následující bezpečnostní opatření:

- nejíst, nepít, nekouřit,
- zabezpečit dobrou ventilaci,
- čistotu,
- obléci si ochranné pomůcky (rukavice atd.).

Všechny materiály, které jsou potřebné k provedení této opravy, musí být skladovány podle doporučení výrobce, aby byla zaručena kvalita provedené opravy.

Metoda 1

Jako první je potřeba odstranit zbývající lak z poškozené oblasti a odříznout lak okolo poškozené oblasti do pravidelného tvaru o, pokud možno, co nejmenším rozměru. Během této operace je zapotřebí si dát pozor, aby nedošlo k poškození povrchu listu, který se nachází pod lakem, neboť poškození by mohlo vést ke vzniku trhliny a v konečném důsledku by se zvýšily náklady na opravu. Pokud je poškození polyuretanu větší a zasahuje manžetu z polyuretanové pěny, je potřeba provést její opravu jako první. Poškození manžety pod polyuretanovým lakem nesmí být tak veliké, aby došlo ke ztrátě polyuretanové pěny. V takovém případě je potřeba aplikovat tenkou vrstvu epoxidové pryskyřice míchané v poměru doporučeném výrobcem, po předešlém stlačení odlehčené strukturální pěny o složení předepsaném výrobcem, do připravené díry. Při aplikaci nesmí vniknout žádný vzduch mezi list a látku, kterou zrovna aplikujeme, aby byla zaručena co největší pevnost. Doba vytvrdnutí pěny je stanovena výrobcem na 16 hodin při pokojové teplotě. Poté můžeme provádět další opravy daného místa. Doba pro vytvrdnutí může být zkrácena na 2 hodiny tím, že zvýšíme teplotu na 60°C . Pozor je potřeba dávat při vyplňování větších děr, neboť by mohlo při urychleném vytvrzování dojít ke zkřivení materiálu. Při této opravě nesmíme použít více než 100 gramů vyplňovacího materiálu na jednu operaci. Pokud je seškrábnutý materiál porézní, musíme aplikovat vyplňovací prostředek Kwikfill. Antistatickými utěrkami, štětcem a acetonem odmastíme vystavený

povrch listu a okolní nátěr. Vysušíme co možná nejlépe a necháme odpařit zbylý aceton. Poté můžeme začít s dalšími opravami. Dalším krokem je odstranění koroze z kovových listů a vyloučení jakéhokoliv dalšího poškození. Následuje opět odmaštění a lehké zabroušení. Překryjeme obnaženou kovovou část vrtulového listu jednou vrstvou Aerodur Polyurethane Primer. Pokud je poškozená oblast přes manžetu, nebo je menší, než 100 cm², vyřízne se záplata z kusu stříkaného polyuretanu odpovídající tloušťky. Výsledná záplata musí zapadnout přesně do vyříznuté oblasti na listu. Lepený povrch záplaty se musí zbrousit a odmastit. Pokud je poškození větší než 100 cm², musí se odkrýt i okolní povrch listu. Na záplatu se aplikují 2 vrstvy základové barvy (UU-52 nebo UU-56 nebo Chemosil 597) a nechají se 2 hodiny zaschnout. Po natření lepidlem se záplata přilepí. Musíme dbát na to, aby pod záplatou neuvízl žádný vzduch. Odstraníme přebytečnou pryskyřici ze spoje. Záplata se zafixuje kousky Flash pásky. Po uplynutí doby potřebné k zatvrdnutí lepidla odstraníme lepicí pásku a zaškrábneme hrany záplaty tak, aby byly zároveň s okolním nepoškozeným lakem. Zaškrábnutí je velmi důležité z hlediska zachování aerodynamické čistoty listu. Pokud by zůstaly mezery mezi záplatou a okolním lakem, je potřeba je zaplnit lepidlem a opět seříznout a přebrousit.

Metoda 2

Tato metoda je v podstatě stejná s metodou předchozí až do bodu, kdy se záplata fixuje páskou. Zde je omezení do velikosti poškození 100 cm².

Pokud je poškození větší, musí se užít vakuum dle následujících kroků:

- překrýt záplatu bílou průmyslovou tkaninou z nylonu a zajistit páskou,
- překrýt prodyšnou tkaninou přiměřené velikosti a zajistit páskou,
- přilepit 12,7 mm širokou těsnicí pásku GS 64027 k povrchu listu obklopujíc celou sestavu pásek. Je ji potřeba lepit tak blízko k prodyšné tkanině, jak je to jen možno,
- odstranit ochranný papír z těsnicí pásky. Přiložit 0,05 mm tlustý Capran 980 film a vakuovací jednotku,
- aplikovat vakuum pomalu do sestaveného vakuovacího zařízení. Uhladit zvrásnění jemným uvolňováním vakua na vakuovací jednotce a kontrolovat, zda někde nedochází k úniku,
- ujistit se, že jakékoliv netěsnosti byly eliminovány a bylo dosaženo podtlaku o velikosti 25 mm rtuťového sloupce.

Dále odstraníme lepicí pásku a zaškrábneme hrany polyuretanové záplaty a zahladíme s okolním polyuretanovým povrchem. Poté musíme vyplnit mezery, jež zůstaly mezi záplatou a původním lakem a nechat zaschnout. Po vytvrzení lepidla v mezerách následuje opět zahlazení s okolním povrchem.

Metoda 3

Tato metoda je vhodná pro opravu drobnějších škrábanců a sekanců do plochy 2 cm². Oprava spočívá v odmaštění povrchu antistatickými utěrkami (nebo ty, které nepouští chlupy) za pomoci acetonu. Poté je potřeba řádně povrch osušit, aby se na něm nenacházely zbytky acetonu a nechat nějakou dobu k úplnému vyschnutí a odpaření posledních zbytků acetonu. Důležité je také odstranit korozi z kovových listů a znovu odmastit. Poškození na listech ze skelných vláken by měly být jemně zabroušeny smirkovým papírem. Následně zaplníme poškozená místa prostředkem Ciba-Geigy Araldite 2012 (lepidlo) a zarovnáme s okolním lakem. Opět je potřeba ponechat potřebnou dobu pro vytvrzení lepidla.

Po ukončení opravy je nutné zkontrolovat kvalitu provedení opravy:

- polyuretanová záplata či lepidlová výplň musí být pevně přilepena k povrchu listu,
- nezůstaly žádné nevyplněné mezery na okrajích záplaty,
- povrch záplaty je zarovnaný a nepřevyšuje/není zapuštěn vůči okolnímu laku,
- dle rozsahu, velikosti opravy a použitého materiálu provést vyvážení vrtule.

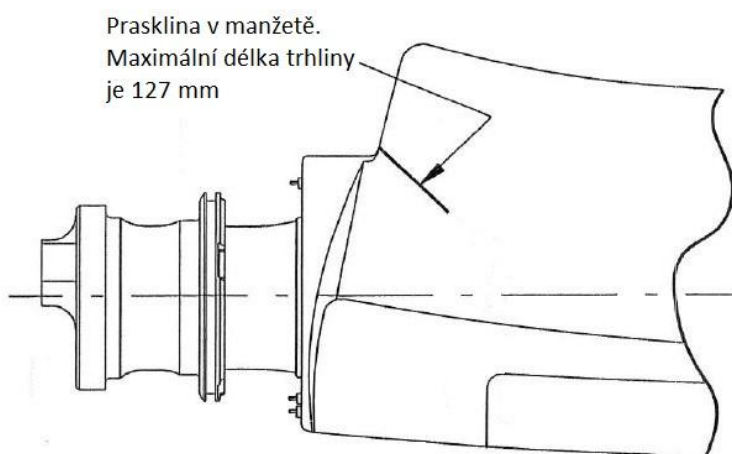
Nevyvážená vrtule způsobuje její vibrace, zvyšuje se její hlučnost, poškození těsnění a s ním spojené tečení oleje. Vzniká větší opotřebení ložisek a také silentbloků uložení motoru.

4.5 Opravy prasklin v materiálu manžety

Oprava praskliny na zadní části manžety

Oprava je proveditelná, pokud nalezená prasklina nepřekračuje délku 127 mm (viz *Obr. 4.4*). Při provádění opravy tohoto druhu poškození je nutno vést záznamy o velikosti a pozici poškození. Teplota okolního prostředí musí být v rozmezí 17 až 25 °C a

relativní vlhkost menší než 65%. Je potřeba odstranit všechnu uvolněnou hmotu z okolí praskliny, který již neudrží. Pokud je místo, kde se nachází prasklina nepřístupné, je zapotřebí demontovat vrtulový kužel, sestavu štítu spojky vrtulového kužele, popřípadě celou vrtuli z pohonné jednotky. Následuje úplné očištění postiženého místa a vyplnění praskliny těsnicí hmotou a zahrazení tak, aby těsnicí hmota byla zároveň s ostatním povrchem vrtule a kopírovala její tvar. Je potřeba se ujistit, že těsnicí hmota dobře drží na postiženém místě a že opravené místo je hladké. Opravené místo se pak zaznačí do záznamníku vrtule a je-li potřeba, na opravené místo se aplikuje nátěr. Konečným stádiem opravy praskliny v materiálu manžety je odzkoušení listu vrtule, abychom zjistili, zda byla oprava provedena správně.



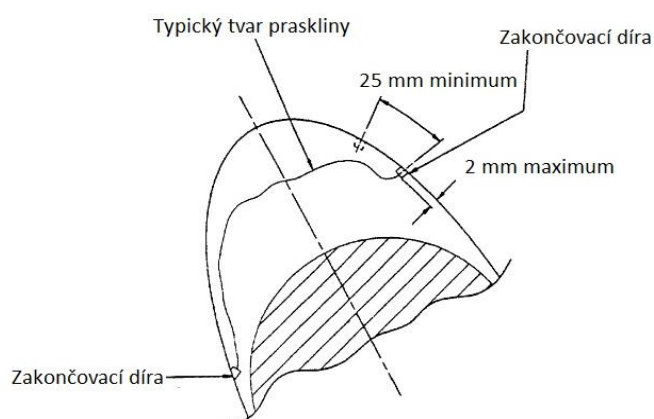
Obr. 4.4 Prasklina na zadní části manžety

Oprava složitější praskliny v materiálu manžety

Požadavky na teplotu a vlhkost ovzduší jsou stejné jako u předchozí opravy. Detaily o velikosti a umístění provedené opravy musí být zapsány do záznamníku vrtule. Tuto opravu lze provést i v případě, že byla nalezena více, než 1 prasklina. Praskliny ale nesmí být vedle sebe ve vzdálenosti menší, než 12,5 mm. Taktéž můžeme tento způsob opravy provádět v případě nálezů radiálních trhlin. Podmínkou je, že vzdálenost mezi koncem radiální trhliny a další trhlínou nesmí být menší, než 50 mm (viz *Obr. 4.5*).

Po nález trhlíny odstraníme polyuretanový lak v dostatečné ploše okolo trhlíny. Pokud je potřeba odstraní se i odmrazování vrtule. Na obou koncích nalezené trhlíny je potřeba vyvrtat díru o průměru 1,5 mm, aby bylo zamezeno dalšímu šíření trhlíny. Pokud si to situace vyžaduje, mohou být vyvrtány další díry kolem povrchu trhlíny, které budou

sloužit jako plnicí otvory pro pryskyřici. Stlačeným vzduchem se odstraní veškerý prach a postižené místo očistí acetonem. Následuje smíchání opravné hmoty. Ta je složena z pryskyřice a tužidla v následujícím poměru: 100 dílů pryskyřice LY556 na 25 – 27 dílů tužidla HY956. Před smícháním je zapotřebí rozehtát pryskyřici na 40°C. Po smíchání je se směsí možno pracovat 15 až 20 minut, proto je potřeba začít ihned s opravou. Směs se naplní do injekční stříkačky a začne se vstříkovat do vyvrtaných děr. Vstřikování musí trvat do té doby, než je patrné vyplnění všech děr po okraj pryskyřicí. Pryskyřice se nechá zgelovatět a poté se nechá vytvrdit při požadované teplotě danou dobu. Vytvrzování může trvat různě dlouho, v závislosti na teplotě. Např. při teplotě 40°C trvá 12 h a při teplotě 100°C trvá 20 minut. Poté se doplní chybějící odřezaný materiál, jako je polyuretanový povlak a odmrazování, pokud byly před opravou odstraněny. Celé opravené místo se pak zastříká lakem a na závěr zkontroluje.



Obr. 4.5 Složitější prasklina v materiálu manžety

4.6 Opravy poškození sestavy odmrazování listu vrtule

Oprava poškození odmrazování způsobeného kamenem či erozí

Oprava spočívá v několika krocích. První je nutno provést odstranění nechtěného materiálu z poškozeného nebo zerodovaného odmrazovacího pásu čisticím prostředkem. Je nutno dodržet zásady pro práci s nebezpečnými a zdraví škodlivými látkami. Poté je zapotřebí ještě vypláchnout poškozenou oblast destilovanou vodou a následně vysušit pomocí speciálního hadříku. Z očištěného místa je potřeba odřezat uvolněný nebo nechtěný materiál a po odřezání zdrsnit smirkovým papírem. Při této operaci je důležité dávat velký

pozor na to, aby nedošlo k poškození žádného elektrického vedení. Pokud by k takové skutečnosti došlo, mohlo by se elektrické odmrazování stát nefunkční a byla by nutná výměna celé sestavy odmrazování listu vrtule na konkrétním listu. Následuje další čištění. K tomuto může být použito hadříku navlhčeného acetonem, metyl-etyl-ketonem nebo vysoce odpařivým uhlovodíkovým rozpouštědlem. Opět je potřeba takto očištěné místo vysušit. Dalším krokem je příprava lepicí směsi pro opravu. Tato směs vznikne v první části smícháním Araldite pryskyřice s Araldite tužidlem. Ve druhé části je potřeba tuto směs obohatit v přesném poměru prachem z neoprenové gumy a důkladně promíchat. Tento poměr činí 3g prachu z neoprenové gumy na 10g směsi Aralditu. Vytvořená směs musí být aplikována rychle a nesmí být smícháno více jak 10g materiálu najednou. Pokud aplikujeme směs při 22°C a v množství 10g, materiál je tvárný pouze po dobu 5 minut nebo méně. Vytvrzení probíhá při teplotě 23°C 2 hodiny. Směs je potřeba při aplikaci vtlačit do všech děr způsobených poškozením a povrch opraveného místa musí být vyšší, než okolní nepoškozená část odmrazování. Jakmile aplikovaná směs přestane být lepkavá, musí se přitlačit špachtlí. Tímto se ujistíme, že směs v opraveném místě neobsahuje žádné vzduchové bubliny a tyto se případně vytlačí. Směs v opravovaném místě správně vytvarujeme, aby kontury kopírovaly co možná nejpřesněji tvar okolního pásu odmrazování, a necháme úplně zatvrdnout. Pokud je oprava prováděna na místě, kde se nachází ochranný těsnicí nátěr, je potřeba toto místo opět zatřít tímto nátěrem. Na závěr je nutno provést kontrolu elektrického odporu sestavy odmrazování.

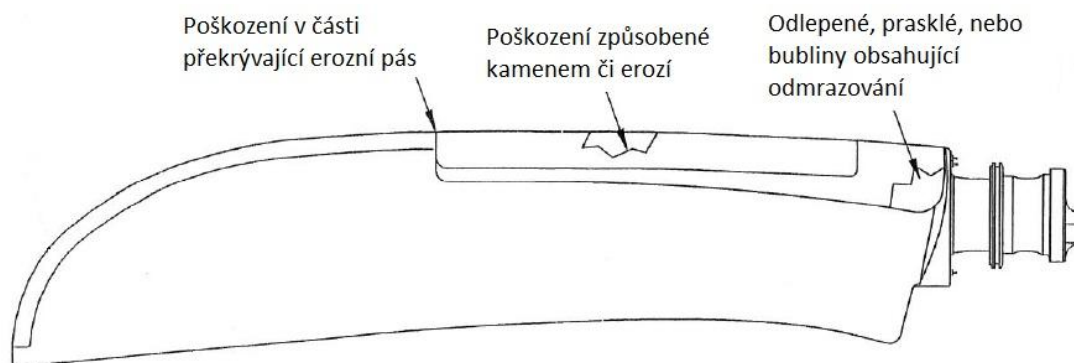
Oprava odlepené, prasklé, nebo bubliny obsahující sestavy odmrazování

První je nutno odřezat poškozené oblasti opět pomocí nožíku. Poté následuje vyčištění poškozeného místa vhodným hadříkem napuštěným v acetonu, metyl-etyl-ketonu, nebo vysoce odpařivém uhlovodíkovém rozpouštědle. Vyčištěné místo je nutno osušit hadříkem, zdrsnit smirkovým papírem a nepoškodit přitom elektrické vedení. Pokračujeme očištěním výše uvedenými rozpouštědly a opětovným osušením místa. Odlepené části pak přilepíme pomocí Bostik pojiva zpět k listu vrtule. Pokud je opravované místo překryto vrstvou těsnicího nátěru, je zapotřebí tento nátěr po opravě obnovit. Opět je potřeba zkontrolovat velikost elektrického odporu sestavy odmrazování.

Oprava poškození sestavy odmrazování v části překrývající protierozní pás

Tato oprava se provádí nejčastěji z důvodu výskytu eroze materiálu tvořícího odmrazování, kterým je překryt protierozní pás. Náprava poškození spočívá v odříznutí veškerého uvolněného materiálu odmrazovací soustavy a dále volbou a provedením

jednoho ze 3 existujících způsobů pokračování v opravě. První možností je vytvoření směsi Aralditu s prachem z neoprenové gumy, která byla již zmíněna v opravě poškození způsobeného kamenem či erozí. Druhou možností je použití tmelu k nahrazení odříznutého místa. Třetí možností je použití 3M Scotch Seal 3500 těsniva k náhradě odříznuté části. Příklady poškození jsou na *Obr. 4.6*.



Obr. 4.6 Příklady poškození odmrazování listu vrtule

4.7 Opravy poškození na vnější kovové části kořene listu

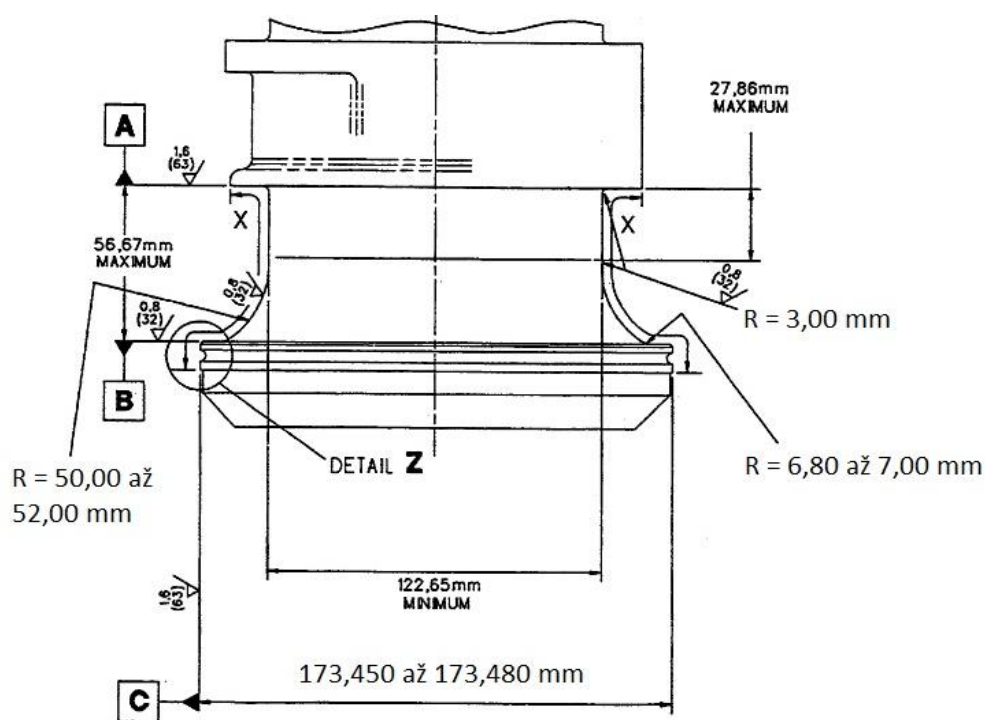
Kořen listu vrtule je jednou z nejvíce namáhaných částí vůbec. Je proto nutno dbát co nejvyšší opatrnosti a preciznosti při provádění jeho opravy. V určitých částech proto není dovoleno zvýšit limity poškození pro provedení opravy, a to ani na požádání. Pokud je zapotřebí, musí se povrch X obrobit nebo zaleštit. Odebere se pouze tolik materiálu, kolik je nezbytné k odstranění poškození, nebo koroze. Množství odebraného materiálu přitom nesmí být větší, než povolují limity (viz *Obr. 4.7*).

Při **odstraňování materiálu z plochy A** obrobením nebo leštěním nesmíme ubrat více, než 0,25 mm. Následuje procedura pro zjištění trhlin v materiálu pomocí nedestruktivních metod. Poté se obrobený nebo zaleštěný povrch opískuje, kromě kruhové plochy C a oblasti označené v detailu Z (viz *Obr. 4.8*). Abychom zabránili korozi čerstvě obrobeného materiálu, aplikujeme na tato místa Alocrom. Je to látka, která se používá k pasivaci (umělé povrchové oxidaci) kovů. Nakonec se na dané místo připevní opravný prstenec, který se použije místo původního teflonového prstence.

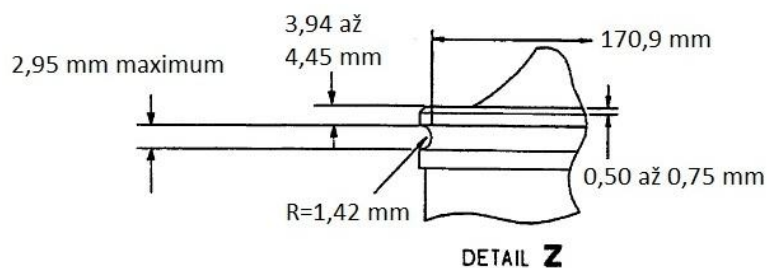
Pokud **odstraňujeme materiál z místa průměru C**, je zapotřebí znova obrobit drážku, která je podrobně zobrazena v detailu Z. Povrch v průměru C může být zaleštěn nebo obroben, avšak musí být respektováno rozmezí rozměrů 173,45 až 173,48 mm. Proveďte se nedestruktivní zkouška na trhliny a aplikuje se Alocrom. Na opravené místo se připevní opravná objímka místo původní objímky, která přidržuje ložisko.

V případě **odstranění materiálu z plochy B, nebo plochy A i B** jsou stejné limity pro množství odebraného materiálu jako předchozí, tedy 0,25 mm. Opět se provede úběr materiálu a následují nedestruktivní zkoušky na zjištění trhlín. Dále se postupuje jako při odstraňování materiálu z plochy A. Nakonec se připevní opravný prstenec namísto teflonového prstence a opravná objímka místo původní objímky, přidržující ložisko.

Poslední možností jsou kombinace **odstranění materiálu z plochy A i místa průměru C, nebo plochy B a místa průměru C, nebo plochy A i B a místa průměru C**. Maximální hodnoty odebraných materiálů zůstávají pořád stejné. Taktéž je tomu i s nutností obrobení drážky v detailu Z, pokud odebereme materiál z místa průměru C. Plochy, na kterých se vyskytuje poškození, se obrobí nebo zaleští a provede se kontrola na trhliny pomocí nedestruktivní metody. Proveďte se opískování ploch, kromě místa průměru C a oblasti vyznačené v detailu Z. Aplikuje se Alocrom, připevní se opravný prstenec a opravná objímka. Proveďte se zkouška, abychom zjistili, zda procedura opravy byla provedena správně.



Obr. 4.7 Vnější kovová část kořene listu vrtule

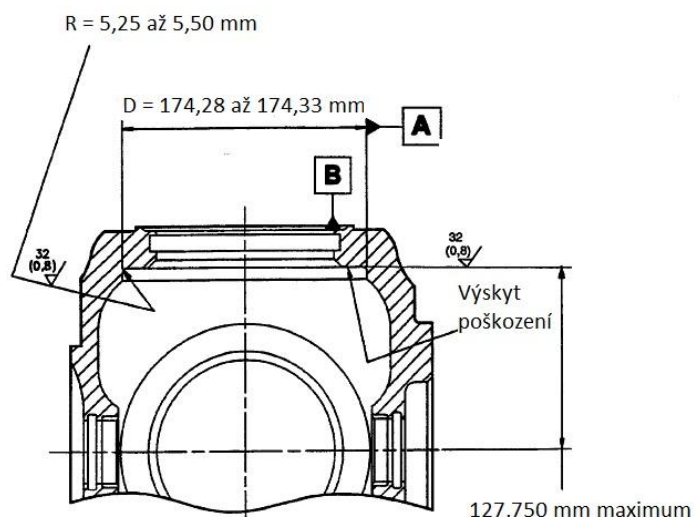


Obr. 4.8 Detail vnější kovové části kořene listu vrtule

Pokud je koroze nebo poškození na ploše A nebo místě průměru C větší, než povolují limity, provede se oprava, při níž jsou limity pro odebrání materiálu vyšší. Oproti prvnímu typu opravy je limit pro odebrání materiálu z plochy A 0,64 mm a pro místo průměru C rozsah 173,07 až 173,09 mm. Opravné kroužky a prstence budou mít v tomto případě také větší rozměry, aby doplnily odebraný materiál. Zbývajícím postup opravy zůstává stejný.

4.8 Oprava poškození nebo opotřebení vrtulové hlavy v místě pro ložiska vrtulového listu

Tato oprava s předcházející opravou přímo souvisí. Vyskytne-li se poškození kovové kořenové části listu vrtule, je téměř jisté, že poškozena bude i vrtulová hlava. Prvním krokem je demontáž listů a veškerých součástí z vrtulové hlavy tak, aby zůstala pouze její přední a zadní polovina. Poloviny je třeba opět složit k sobě a musí se přitom dbát, aby k sobě byly smontovány správně z hlediska otvorů pro vrtulové listy. Jednotlivé otvory jsou na obou polovinách číselně označeny. Dotažení se provede pomocí momentového klíče, a to na hodnotu 44 N. Poškozené plochy se obrobí a přitom se musí respektovat maximální rozměrové hodnoty po obrobení. Tyto hodnoty jsou patrné z *Obr. 4.9*.



Obr. 4.9 Řez vrtulovou hlavou

Z obrobených ploch se opatrně odstraní ostré hrany například pomocí blendoskopu. Proveďte se nedestruktivní kontrola na přítomnost trhlin. Důležitá je obnova ochranné vrstvy na obrobených plochách a provedení zkoušky vrtulové hlavy na správnost provedení opravy. Existuje ještě další úroveň této opravy, kde limity pro odebrání materiálu jsou vyšší. Po provedení této opravy už není možno provést opravu znova, bez povolení od výrobce vrtule.

4.9 Statické vyvažování kompozitních listů a kompozitních vrtulí

Použité pojmy

- Sací (konkávní) strana – strana listu s výraznějším zakřivením; je orientována vpřed ve směru letu
- Tlačná (konvexní) strana – plochá strana listu; je orientována vzad ve směru letu
- Rovina rotace – rovina, ve které vrtule rotuje
- Nevyváženost – úchylka od rovnováhy momentů, existující buď mezi dvojicí listů (v uncích nebo palcích), nebo vrtule jako celku (v g.mm)
- Referenční list – etalonový list, pro daný typ listu a je použit k datu vyvažovacího stroje předcházející operaci vyvažování listu

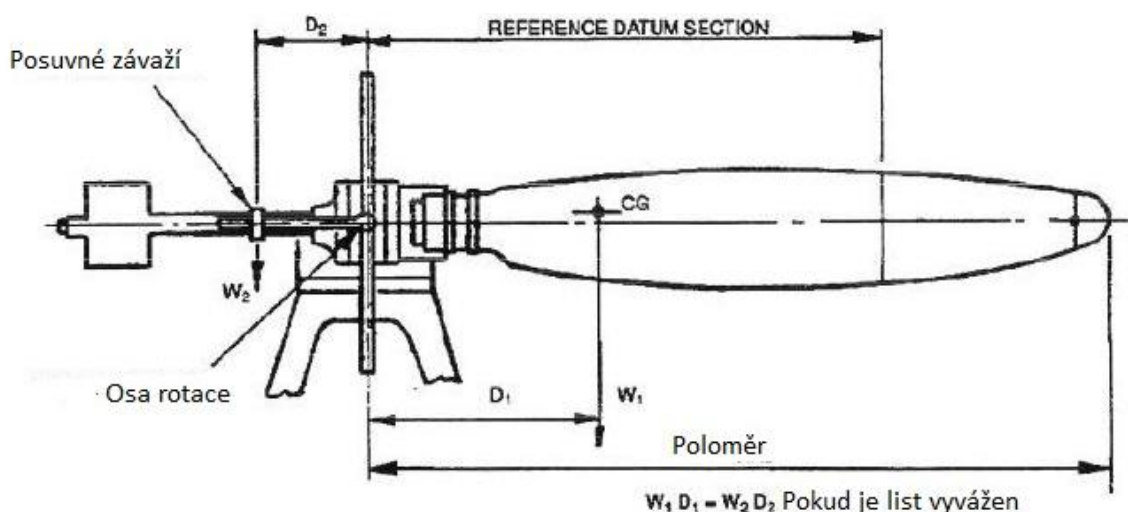
Vyvažování listu vrtule

Pokud vezmeme v úvahu vyvážení listu, musíme si uvědomit, že geometrie většiny listů disponuje větší hmotností na jedné straně a hraně listu, než na ostatních částech. Tlačná strana bude ve většině případů těžší, než sací strana. Taktéž odtoková hrana bude těžší, než náběžná hrana. Není to ale pravidlem, pokud je např. list vrtule zahnutý (šavlovitý).

List vrtule je nutno vyvážit ve 3 osách:

Horizontální vyvážení

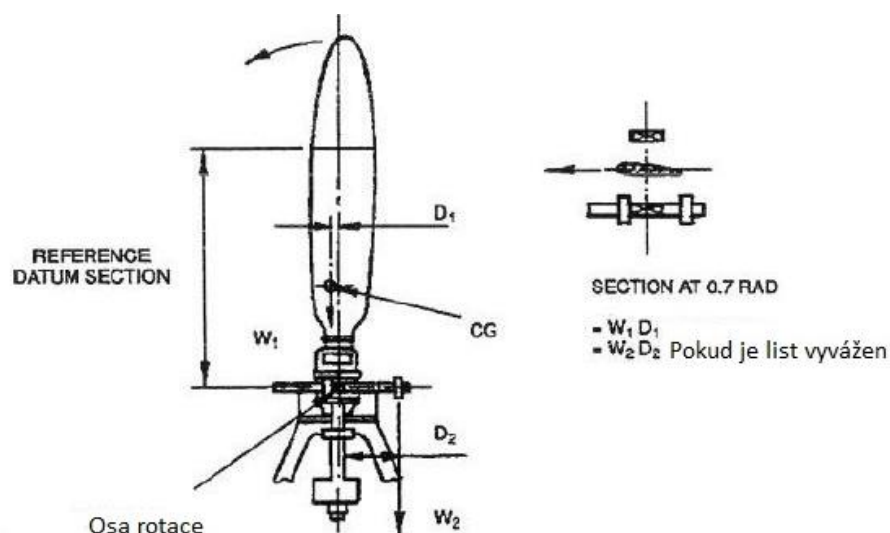
Listy se vyvažují v sestavách (několik kusů) nebo po dvojicích. Při vyvažování je list v horizontální poloze a má přesné protizávaží (*Obr 4.10*).



Obr 4.10 Horizontální vyvážení listu vrtule

Vertikální vyvážení

Prováděno s listem ve vertikální poloze a s datovou sekci nastavenou na 0° vzhledem k rovině rotace. Listy jsou vyvažovány v sadách nebo ve dvojicích (viz *Obr. 4.11*).



Obr. 4.11 Vertikální vyvážení listu vrtule

Vertikální vyvážení plochy kolmo

Je prováděno s listem ve vertikální poloze a s datumovou sekci nastavenou na úhel 90° vůči rovině rotace.

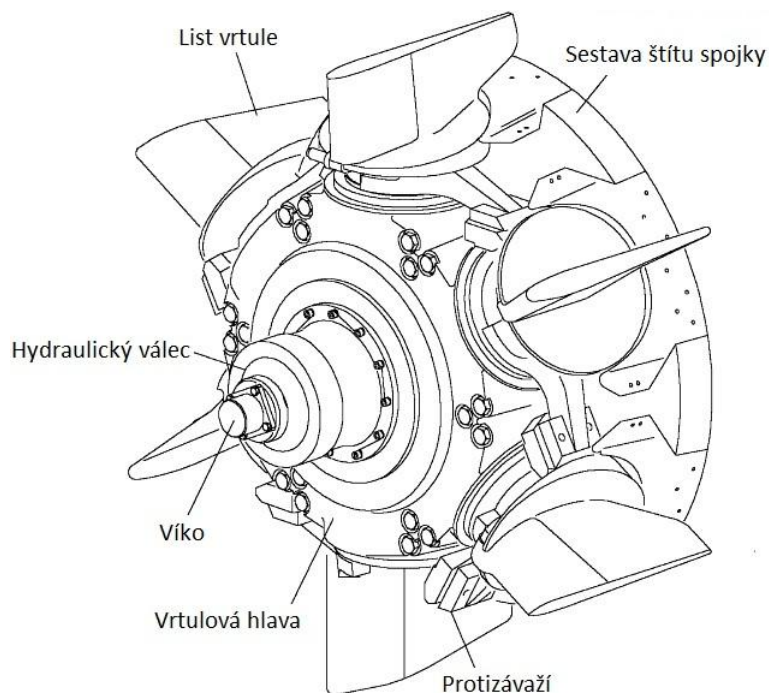
4.10 Odlišnost pro letoun SAAB 2000

Ačkoliv je letoun SAAB 2000 v podstatě jen zvětšenou verzí SAAB 340, jsou při pohledu na SAAB 2000 patrné základní rozdíly. Jelikož je letoun větších rozměrů, je potřeba pro jeho pohon větších pohonných jednotek. Aby bylo možno dobře využít výkon z větších pohonných jednotek, je nutno použít jiných vrtulí, než těch, které jsou použity u letounu SAAB 340 (viz Obr. 4.12). Výkon motoru je totiž přeměňován na tah, který se využívá k pohybu letounu vpřed, pomocí vrtule. Odlišnost těchto vrtulí, které si můžeme všimnout pouhým okem, spočívá v jejich větším průměru, větším počtu listů a jejich odlišném tvaru.

Technické údaje:

- Počet listů = 6
- Průměr = 3,81 m

- Hmotnost (vrtule a sestava štítu spojky) = 220 kg
- Praporovací úhel = $85^{\circ} 5'$ až $85^{\circ} 25'$
- Reverzační úhel = $-15^{\circ} 5'$ až $-16^{\circ} 25'$
- Mazací olej (syntetický) = MIL-L-23699 nebo MIL-L-7808

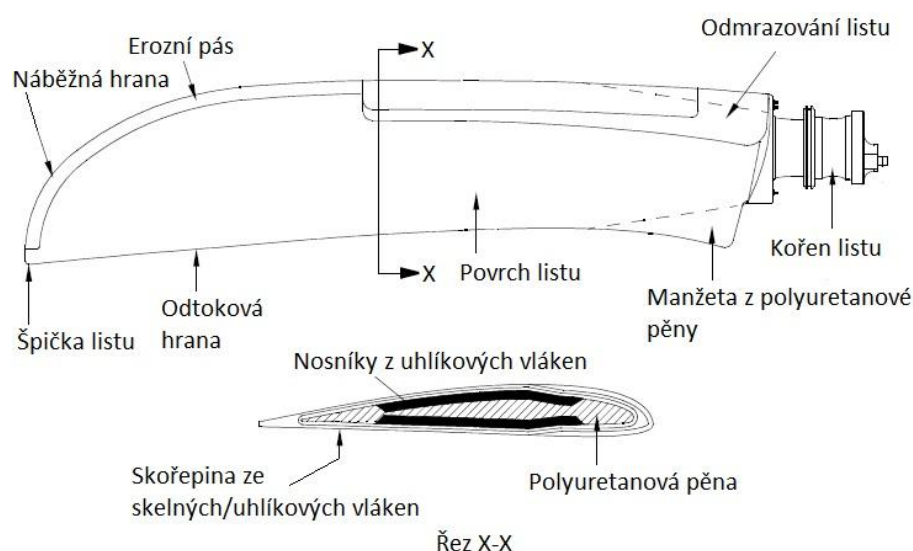


Obr. 4.12 vrtulová hlava letounu SAAB 2000

Sestava vrtulového listu a jeho odmrazování

Listy šestilisté vrtule jsou taktéž, jako listy vrtule letounu SAAB 340, kompozitní. Jsou složeny z kombinace sklo – uhlík - epoxid, kde uhlík je ve formě vláken a je použit na nosníky a profil listu je tvořen skleněnými vlákny, které jsou spojeny epoxidovou pryskyřicí. Prostor uvnitř listu (jádro) je pak vyplněn polyuretanovou pěnou (viz *Obr. 4.13*). Povrchová úprava listu je realizována prostřednictvím polyuretanového laku. Pěnová zátka utěsňuje díru v kořeni listu. Kořenový klín, vnitřní a vnější rukávce drží konec listu. Protierozní pás je přilepen na náběžnou hranu každého listu. Sestava odmrazování vrtule je připevněna k náběžné hraně každého listu vrtule taktéž. Odmrazování je realizováno pomocí elektrického elementu, který je vložen mezi dvě vrstvy gumového pásu. Odmrazování se připojuje do bloků na sestavě štítu spojky náboje. Z důvodu ochrany vrtulového listu proti poškození úderem blesku musí být list vodivě propojen s ostatní konstrukcí letounu. Jelikož kompozit je nevodivý, je do listu

zakomponován tenký proužek kovového materiálu sloužícího jako bleskosvod. Tento proužek prochází celým listem a je vyveden na kořeni listu, kde se pak vodivě spojí s vrtulovým nábojem. Každý list taktéž obsahuje olověnou vatu ve vyvažovací trubici, která je umístěna v kořeni listu. Trubice je pak opatřena záslepkou, aby se vyloučila možnost vypadnutí olověného vývažku. Díky tomu může být každý list vyvážen individuálně. Jelikož je i tato vrtule stavitelná, nachází se na kořeni každého z listů operační kolík. Tento je připevněn ke kořeni listu pomocí šroubu. Na vnější rozměr operačního kolíku je pak nasazeno valivé ložisko s jehlovými elementy a zajištěno právě již zmiňovaným šroubem s podložkou. Takováto konstrukční podsestava je na každém z šesti listů. Operační kolíky jsou pak ve sprážení v křížové hlavě a jejím pohybem dochází k souběžnému stavění všech šesti listů zároveň.



Obr. 4.13 List vrtule letounu SAAB 2000

Tvar listu vrtule

Každá vrtule je navrhována pro daný účel letounu a letové podmínky, které se při jeho provozu běžně vyskytují. Od těchto parametrů se pak odvíjí mnoho charakteristik vrtule. Mezi ně bezesporu patří i tvar vrtulového listu. Na první pohled je u listu vrtule letounu SAAB 2000 patrné jeho šavlovité zahnutí. Vrtule se šavlovitým zahnutím se vyrábí z důvodu zvýšení její efektivity. Obvodová rychlost se totiž se zvětšujícím se průměrem vrtule zvětšuje. Proto při vyšších otáčkách vrtule dochází v blízkosti špiček listů k transsonickému nebo supersonickému proudění. Šavlovitý tvar listu snižuje relativní tloušťku jeho řezu u špičky. Stejného principu se využívá i u křídel rychlých letadel.

Kritická hodnota Machova čísla řezu u špičky listu je pak posunuta do vyšších oblastí. Vyšší je tím pádem i maximální propulzní účinnost při větších rychlostech obtékání špiček vrtulových listů. Další výhodou použití šavlovitých listů je nižší úroveň produkovaného hluku. Jako nevýhoda se může jevit fakt, že šavlovitý tvar listu je náročnější na výrobu. Jelikož jsou ale listy vrtule na tomto letounu vyrobeny z kompozitních materiálů, není tomu tak. Z kompozitních materiálů je možno navrhnout a vyrobit tvarově složité součásti, které jsou dimenzovány přímo na konkrétní zatížení. Mezi všeobecné nevýhody kompozitních materiálů patří riziko jejich delaminace a vydrolování.

Limity pro opravy protierozního pásu

Ačkoliv je protierozní pás na vrtuli letounu SAAB 2000 odlišných rozměrů a tvarů, limitní rozměry poškození pro provedení opravy jsou stejné, jako u letounu SAAB 340. Postup lepení protierozního pásu na listy vrtule letounu SAAB 2000, se nijak neliší od postupu, který se používá pro lepení protierozního pásu na vrtule letounu SAAB 340. Rozdíly jsou pouze v rozměrech.

5. Vylepšení technologických postupů oprav vrtule

5.1 Rozbor potřebného vylepšení

Po konzultaci s odborníkem na údržbu vrtulí jsem zjistil, že by bylo zapotřebí zpracovat návrh na vylepšení stojanu na vrtule. Z letounu, který přijde do servisu na provedení údržby, se vrtule demontuje a svěsí pomocí speciálního přípravku. Poté je buďto přímo opravena, nebo se uloží do stojanu na vrtule a mezi tím je prováděna údržba letounu. Problémem je, že vrtule ve stojanu stojí při údržbě letadla poměrně dlouhou dobu. Uložení vrtule ve stojanu je provedeno tak, že tato zaujímá pozici stejnou, jako by byla namontována na letounu, tedy osa rotace vrtule je v horizontální rovině. V této poloze působí tíha listů vrtule vždy směrem k zemi. Jelikož jsou listy vrtule stavitelné, jsou uloženy v axiálních kuličkových ložiskách. Pokud vrtule dlouho stojí v jedné poloze, dochází k poškození vnitřních dílů uložení listů ve vrtulové hlavě, následně pak k netěsnostem a ke korozi materiálu. Oprava takového poškození je nákladná a hlavně časově náročná. Je zapotřebí rozebrat prakticky celou vrtuli. Při dlouhodobém uskladnění vrtule (delším 3 měsíců) je vhodné vrtuli zabalit do plastového obalu (např. z igelitu), do kterého se umístí silikagel, který odebírá vlhkost.

K zabránění vzniku tohoto problému je zapotřebí vrtuli ve stojanu občas protočit a pootočit. Na základě informací od specialisty na údržbu vrtulí by mělo jednou za 24 hodin dojít k protočení vrtule a zastavení na poloze posunuté vůči původní o 1/4 otáčky. Navrhuji tedy na existujícím stojanu provést úpravy, které by tento problém vyřešily. Dalším problémem je, že při demontáži vrtule z motoru je potřeba vyjmout a odložit jisté konstrukční části, z kterých je vrtulová jednotka složena. Jedná se konkrétně o tzv. beta trubku, která je poněkud dlouhá a manipulace s ní je nesnadná. Nejlepším řešením by bylo, kdyby se tato trubka dala odložit přímo někde u stojanu. Proto navrhuji další konstrukční úpravu stojanu. Tato úprava bude spočívat v přivaření úložného místa pro beta trubku. Taktéž by bylo vhodné začlenit do úprav připevnění odkládací poličky na nářadí a drobné demontované součástky ke zvýšení přehlednosti při demontáži a zamezení ztrát drobných dílů.

Při údržbě vrtule se též vyskytl problém s váhovou vyvažovačkou Marvel, která je doporučována přímo výrobcem. S ohledem na finanční stránku věci by bylo nejlepším

řešením vymyslet vyvažovačku vlastní. I zde je možno opět vyjít z původního stojanu na vrtuli. Konstrukční úpravou lze vyrobit buď vyvažovačku kotoučovou, nebo nožovou.

5.2 Návrh samoprotáčecího stojanu s vyvažovačkou

Při návrhu samoprotáčecího stojanu jsem se rozhodl vyjít ze stávajícího stojanu na vrtuli, jehož autorem je specialista na údržbu vrtulí z jisté letecké opravárenské firmy v Mošnově (viz *Obr. E1*). Toto řešení by mělo být jednoduché a účelné. Provést úpravu na existujícím zařízení je v tomto případě finančně méně náročné, než vyrábět stojan nový. Při modifikaci je potřeba zachovat všechny funkce stojanu původního.

Původní stojan na vrtuli je svařen z trubek čtvercových profilů. Konstrukci stojanu můžeme rozdělit na 2 základní části, jimiž jsou podvozek a dvojice vertikálních vzpěr, na kterých spočívá hřídelový náboj s ložisky. Celý stojan spočívá na čtyřech kolech, kde zadní dvojice je pevná a přední dvojice je otočná, abychom mohli se stojanem snáze manipulovat. Kola jsou pak ke zvětšení bezpečnosti vybavena brzdami, pokud by někdy nastala situace, že by stojan stál na šikmém povrchu. V přední části rámu podvozku jsou vyvrtány 2 vertikální otvory, které slouží k zasunutí madla. Madlo je vyrobeno z vhodné tvarově zahnuté trubky. Toto konstrukční řešení má výhodu v tom, že odnímatelné madlo nepřekáží při montáži vrtule na stojan a zároveň je minimalizováno riziko úrazu. Na vrchol stojanu je přivařen podstavec, k němuž je přišroubován náboj s ložisky. Skrze náboj s ložisky pak prochází krátká hřídel a na ni je připevněn z každé strany již klasická příruba k připevnění vrtule (viz *Obr. E2*). Tuhost stojanu je zvýšena přivařením dvou kusů vzpěr z ocelového plechu do mezery mezi dvěma vertikálními trubkami o čtvercovém profilu. Celá konstrukce je pak opatřena nátěrem, aby se zamezilo korozi.

Záměrem je vytvořit zařízení, které by v sobě kombinovalo stojan na vrtuli (viz *Obr. E3*) a vyvažovačku (viz *Obr. E4*). Toto zařízení by mělo splňovat požadavky na jednoduchost, nízkou cenu a účelnost.

5.3 Realizace samoprotáčecího stojanu

K samotné realizaci funkce automatického protáčení je zapotřebí vhodného elektrického motoru, u kterého můžeme přesně řídit počet vykonaných otáček. Jako

nejvhodnější se pro toto využití tedy jeví krokový motor, u nějž právě můžeme přesně řídit polohu natočení hřídele a počet provedených otáček. Krokové motory jsou v podstatě speciálním druhem vícepólového synchronního motoru. V principu krokový motor pracuje tak, že prochází – li elektrický proud skrze cívku statoru, je vytvářeno magnetické pole. Toto magnetické pole pak přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Motor je schopen stát přesně v poloze, do které byl rotor motoru magnetickým polem pootočen. Díky vhodnému zapojení cívek můžeme vytvořit ve statoru rotující krokové magnetické pole, které dokáže otáčet rotorem a zabezpečuje jeho přesný úhel natočení vůči statoru. Aby byla dodržena přesnost krokování motoru, musí být jeho otáčky limitovány. Příčinou nepřesného krokování při vysokých otáčkách jsou přechodové jevy. V porovnání s jinými motory jsou krokové motory výhodnější zejména v tom, že pracují bez nákladného snímače otáček či polohy. Díky tomu jsou jednodušší a tím pádem i spolehlivější, méně náročné na údržbu a levnější. Řízení takového motoru je prováděno napřímo, bez zpětnovazební větve. Výbornou vlastností těchto motorů je také to, že jsou bezúdržbové a mají vysokou životnost, tudíž se jejich použitím ušetří za náklady na údržbu. Nejpoužívanějšími krokovými motory jsou dnes 3fázové krokové motory. Předchůdci 3fázových krokových motorů byly 5fázové a 2fázové krokové motory. Z kontextu tedy vyplývá, že 3fázové motory jsou nejmladšími a zároveň nejlepšími zařízeními, které jsou schopny řídit úhel natočení hřídele. Je zde použito sinusové komutace proudu, tudíž mají ve srovnání s 2 a 5fázovými motory o 30-50 % vyšší účinnost při vyšších otáčkách. Ve výkonových jednotkách těchto motorů jsou přesné regulátory proudu pro každou fázi, a tak je zajištěn rovnoměrný a stabilní chod v celém rozsahu pracovních otáček. Počet kroků na otáčku si můžeme zvolit. Rozsah se pohybuje od 200 do 10000 kroků na otáčku. U digitálních řídicích jednotek lze nastavit až 20000 kroků na otáčku. Motor může mít vestavěnou i elektromagnetickou brzdu, čímž je ještě více zpřesněno zastavení hřídele v požadované poloze. Užitím tohoto motoru tak zajistíme přesné pootočení vrtule o potřebný úhel. Jelikož mají krokové motory všeobecně poněkud malý krouticí moment, je zapotřebí použití převodovky. Tato převodovka již bývá součástí bloku celého elektromotoru. Používá se zejména planetového typu převodovky.

Aby byl zajištěn přenos krouticího momentu z krokového elektromotoru, je zapotřebí provedení konstrukční úpravy jedné z přírub, ke které se pak přišroubovává vrtule. Jelikož jsem se rozhodl navázat na již existující konstrukční řešení, bude nutno použít ozubeného soukolí, jímž se krouticí moment bude přenášet z motoru na hřídel s přírubami. Z důvodu co možná nejvyšší bezpečnosti stojanu bude muset toto ozubené soukolí být zakrytováno.

Kryt by měl zakrýt kompletně celé soukolí. Jako materiál vhodný k výrobě připadá v úvahu buďto hliníkový nebo ocelový plech. Kryt bude plnit kromě funkce zvýšení bezpečnosti i ochranu proti nečistotám a vnějším vlivům. Ozubené soukolí totiž bude muset být lubrikováno mazacím tukem.

Jak již bylo uvedeno výše, stávající konstrukce stojanu pro vrtuli je z rozměrového hlediska vyhovující a je ověřena praxí. Domnívám se, že následující vylepšení by mohlo přinést užitek a ušetřit starosti pracovníkům opravárenských středisek provádějících údržbu vrtulí letounu SAAB 340 a v konečném důsledku i finance samotným opravárenským střediskům.

K vylepšení bude zapotřebí následujících částí:

- Elektromotor
- Ozubené soukolí
- Řídicí a výkonová jednotka
- Trubka tvořící odkládací prostor pro Beta trubku
- Police pro odkládání drobných součástí
- Konstrukční části, které spojí součásti v jeden funkční celek

Elektromotor

Pro pohon zařízení navrhuji krokový motor VRDM 31122 vyráběný firmou Berger Lahr. Jedná se o 3fázový krokový motor, který je vybaven snímačem otáček a eventuálně i brzdou (viz *Obr. 5.1*).

Parametry krokového motoru jsou následující:

- Maximální napětí $U_{\max} = 230V_{AC}$ a $325V_{DC}$
- Nominální krouticí moment $M_N = 16,5 \text{ Nm}$
- Přídržný moment $M_H = 19,7 \text{ Nm}$
- Setrvačnost rotoru $J_R = 1,6 * 10^{-3} \text{ kgm}^2$
- Počet kroků na otáčku $z = 200/400/500/1000/2000/4000/5000/10000$
- Úhel mezi kroky $\alpha = 1,8/0,9/0,72/0,36/0,18/0,09/0,072/0,036^\circ$
- Tolerance úhlu $\Delta\alpha_s = \pm 6'$
- Nominální proud $I_N = 4,75 \text{ A}_{rms}$
- Odpor vinutí $R_W = 1,9 \Omega$
- Hmotnost $m = 11 \text{ kg}$

Provozní podmínky:

Motor je možno provozovat při teplotách okolí v rozmezí -25°C až 40°C a průměrné roční relativní vlhkosti do 75%, nebo 95% po dobu kratší, než 30 dní. Nesmí však docházet ke kondenzaci vlhkosti. Skladovat motor lze při teplotách od -25°C do $+70^{\circ}\text{C}$. Životnost motoru negativně ovlivňují podmínky jako je instalace v polohách vyšších než 1000 m nad mořem, dlouhodobé provozní teploty překračující 80°C , úhlový posuv menší než 100° , provozování s vysokými akceleracemi rotace, vibrace větší, než 20 m/s^2 , vysoké cyklické frekvence, chod se suchými těsnicími kroužky a čištění těsnicích kroužků agresivními prostředky.

K motoru je zapotřebí zvolit převodovku, která s ním tvoří jeden blok. Je to z toho důvodu, že samotný krokový motor má malý krouticí moment. Z katalogu je možno vybrat ze dvou typů planetových převodovek a 3 různých převodových poměrů. S převodovými poměry se mění i velikost celkového výstupního krouticího momentu. Volba konkrétní převodovky bude záviset od momentu potřebného k uvedení vrtulí do pohybu.



Obr. 5.1 Krokový motor Berger Lahr VRDM 31122

Řídicí a výkonová jednotka

Jako ovládací zařízení pro krokový motor navrhuji výkonovou a řídicí jednotku od firmy Berger Lahr řady Twin Line (viz *Obr. 5.2*). Tato řada nabízí digitální jednotky pro řízení pohonů, které jsou určeny pro pohon krokových motorů nebo AC-servomotorů. Výkonové jednotky jsou plně digitální a mají v sobě již vestavěný síťový zdroj, odrušovací filtr, aktivní chlazení a brzdny odpor. Tyto jednotky provádějí sinusovou komutaci proudu motoru za pomoci digitálních regulátorů. Použitím této jednotky je zajištěna vysoká účinnost a stabilita celého pohonu, zajištěna vysoká dynamika, rovnoměrný chod už od

nízkých otáček a jsou eliminovány možné rezonance. V řídicí jednotce je vestavěn mikropočítač se systémovými funkcemi pro řízení pohonu. Mezi tyto funkce patří například polohování z bodu do bodu, řízení otáček, referenční pojezdy či komunikace s okolními systémy. K nastavení parametrů pohonu, simulaci funkcí a optimalizaci regulátorů lze použít servisní program TwinLine Control Tool. Je možno použít tři základních typů řídicích jednotek, z nichž každá je pro různé použití. Pro navrhovaný pohon se hodí nejlépe řídicí jednotka vyráběná pod označením TLC412. Tato jednotka umožňuje polohování z bodu do bodu pro sadu až 50 bodů a nastavení proměnného rychlostního profilu. Pro účel samoprotáčečního stojanu jsou tedy její funkce bohatě postačující.



Obr. 5.2 Řídicí jednotka Twin Line TLC412

Tato jednotka má následující parametry:

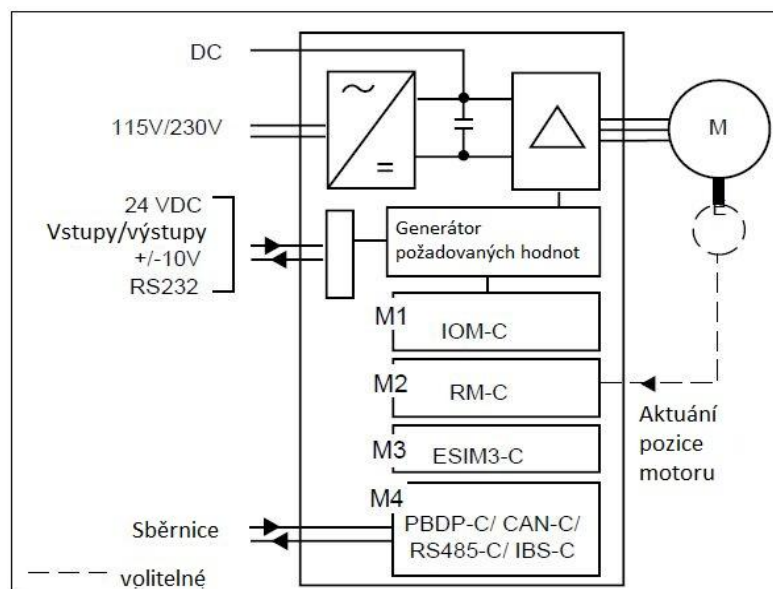
Mechanické:

- Hmotnost = 2,7 kg
- Krytí = IP 20
- Šířka = 108 mm
- Výška = 212,5 mm
- Hloubka = 184,5 mm
- Rozteč otvorů pro montáž = 63 mm

Elektrické:

- Napájecí napětí = 230 -20%/+15% V_{AC} nebo 115 -20%/+15% V_{AC}
- Frekvence napájecího napětí = 47 – 63 Hz
- Odběr proudu = 5A (230V) nebo 10A (115V)
- Startovní proud = <60 A
- Výkonová ztráta = ≤60 W
- Odběr proudu naprázdno = <30 mA
- Výkon = 0,75 kW
- Maximální otáčky motoru = 3000 min⁻¹

Blokové schéma (Obr. 5.3) znázorňuje řídicí a výkonovou jednotku spolu s krokovým motorem.



Obr. 5.3 Blokové schéma řídicí jednotky Twin Line TLC412

Řídicí a výkonová jednotka v sobě zahrnuje též 4 moduly, které mají tyto funkce:

- M1 – jedná se o analogový modul, který zaznamenává a generuje analogové a digitální hodnoty napětí.
- M2 – slouží k příjmu signálů, kterými se monitoruje pozice a otáčky krokového motoru a taktéž jeho provozní teplota.
- M3 – transformuje údaje o pozici motoru do digitální podoby
- M4 – obsahuje modul pro komunikaci po sběrnici Profibus, CANOpen nebo DeviceNet sběrníkový systém, dále po sběrnici Interbus a RS485. Tento modul stejně jako modul M2 je volitelný.

Při montáži řídicí a výkonové jednotky na stojan je zapotřebí zacházet s touto částí opatrně, neboť je v ní obsažena důležitá elektronika pro řízení celého systému. Taktéž je zapotřebí vytvořit ochranu, která by chránila přístroj při vykonávání údržby vrtule a při manipulaci se stojanem. Navrhuji tedy kolem této jednotky umístit ochranný plech z oceli

Ozubené soukolí

Za pomoci dvojice ozubených kol bude zprostředkován přenos krouticího momentu vytvořeného motorem na hřídel s vrtulemi. Bylo by i možno použít i koncepci, která by spočívala v použití dvou řemenic a pohon byl zprostředkován řemenem, ale toto řešení má jednu hlavní nevýhodu. Jelikož je u navrhovaného řešení samoprotáčecího stojanu požadavek na poněkud přesné pootočení vrtule vůči původní poloze, není možno řemenového převodu použít. Ozubená kola budou sice dražším řešením, ale v podstatě řešením jediným. Konkrétní převodový poměr by měl být do pomala. Hnací ozubené kolo bude menšího průměru a hnané ozubené kolo většího průměru. Ozubení na kolech může být v provedení šikmém, přímém či šípovitém. Vzhledem k tomu, že soukolí nebude zase tak často v pohybu, navrhuji použít ozubené kola s přímými zuby a to proto, že jejich výroba bude jednodušší. Samotná výroba ozubeného kola by pak měla probíhat na CNC fríze, nebo na speciálním zařízení určeném přímo pro výrobu ozubených soukolí. Materiál použitý na výrobu může být litá ocel 42 2719, ocel 11 600, 12 020, 14 220 nebo bronz 42 3048, 42 3123. Při použití oceli je nutno její povrchové zpracování (kalení, cementování, nitridování). Pokud bude použit bronz, bude mít soukolí dobré kluzné vlastnosti a nebude potřeba jej tepelně zpracovávat. Nejvýhodnějším materiálem pro výrobu se jeví bronz. Do ozubených kol by bylo vhodné vyfrézovat otvory, které by sloužily k odlehčení celé konstrukce a snížení momentu setrvačnosti celého soukolí.

Odkládací prostor pro Beta trubku

Odkládací prostor pro beta trubku by měl být umístěn na stojanu, neboť při demontáži vrtule z motoru se tato součást vyjímá a zároveň se vrtule nasazuje na stojan. Navrhuji umístit odkládací prostor na jednu z vertikálních vzpěr stojanu. Samotný odkládací prostor by mohl být vyroben z tenkostěnné trubky o požadovaném průměru a délce, která bude vyplývat z rozměrů beta trubky. Spodní část tenkostěnné trubky se zavaří vystřiženým kouskem plechu a tím bude vytvořeno dno. Jelikož beta trubkou proudí v provozu hydraulická kapalina (olej) a při jejím vyjmutí z vrtulové hlavy může dojít k vytečení této kapaliny ven, bylo by vhodné udělat na dně odkládacího prostoru vypouštěcí kohoutek, aby nedocházelo k hromadění této kapaliny na dně nádoby.

Police pro odkládání drobných součástí

Navrhuji vylepšení stojanu touto částí, a to z důvodu možnosti odložení náradí či demontované součásti. Zvýší se tím přehlednost při prováděné práci. Police by měla být vyrobena z ohnutého ocelového plechu a přivařena či připevněna šrouby k samotné konstrukci stojanu. Umístění by mělo vycházet z běžné výšky člověka tak, aby se pracovník nemusel ohýbat a pohodlně na polici dosáhl.

Konstrukční části, které spojí součásti v jeden funkční celek

Těmito částmi jsou myšleny různé konzolky, kterými budou přichyceny části vylepšující stojan. Dále se jedná o kabelové propojení motoru a řídicí jednotky a kabel napájení řídicí jednotky z elektrické sítě. Kabelové propojení musí mít dostatečnou izolaci a mělo by být provedeno v jednom svazku. Za zmínku stojí konzole, pomocí které bude přichycen krokový motor ke stojanu. Měla by splňovat požadavky na dostatečnou tuhost a pevnost, aby byla schopna přenést všechna zatížení na konstrukci stojanu a vyloučila se možnost vzniku vibrací právě díky nedostatečné tuhosti. V tomto případě navrhuji přivaření konzole ke stojanu. Krokový motor k ní pak bude připevněn šrouby s pojistnými podložkami.

Rozměry samoprotáčecího stojanu:

- Délka = 1730 mm
- Šířka = 1079 mm
- Výška = 2055 mm
- Dutý profil čtvercového průřezu = 100 x 100 mm
- Tloušťka stěny čtvercového průřezu = 6 mm
- Vzdálenost mezi přírubami = 604 mm
- Průměr koleček = 200 mm
- Tloušťka koleček = 50 mm

5.4 Realizace vyvažovačky

Ze dvou typů konstrukčního řešení, které se nabízí, je výhodnější nožová vyvažovačka. Není zde zapotřebí kvalitních ložisek pro valivé uložení kotoučů, jako u kotoučové vyvažovačky. Dle mé úvahy bude nožová vyvažovačka levnější a jednodušší na výrobu.

Aby bylo možno stojan použít i jako vyvažovačku, je na něm nutno provést konstrukční úpravu. Tato úprava umožní využití jak funkce automatického protáčení, tak vyvážení vrtule. Samoprotáčecí stojan je složen z krokového motoru, řídicí jednotky, ozubeného soukolí a hřídele s přírubami k připevnění vrtule. Všechny tyto součásti jsou umístěny v horní části stojanu. Tuto část je tedy možno odříznout a upravit ji tak, aby byla odnímatelná. Získáme tedy možnost připevnění obojího zařízení na jeden stojan.

Jak již bylo zmíněno, vyvažovačka bude nožového typu. Slouží pouze ke statickému vyvážení vrtule. Pracuje na principu odvalování hřídele po dvou tzv. nožích. Tyto nože jsou umístěny paralelně vedle sebe, musí být rovnoběžné a vodorovné. Na jeden konec hřídele je připevněna vrtule a na druhý protizávaží, které hmotnost vrtule vyvažuje a tak je každý nůž zatížen stejně. Při vyvažování se nože ustaví do vodorovné roviny a na ně se položí hřídel s protizávažím a připevněnou vrtulí. Pokud je vrtule nevyvážená, odvalí se po nožích jedním směrem a ustálí se v poloze, kdy je její těžiště pod osou vrtule. Přidáváním vývažků pak lze dosáhnout vyváženosti.

Po odříznutí horní části stojanu se k jeho spodní části přivaří podstavec s otvory pro šrouby. Vytvoří se dva protikusy, jeden pro samoprotáčecí stojan, druhý pro vyvažovačku, k nimž tato zařízení budou připevněna.

K realizaci nožové vyvažovačky budou zapotřebí tyto části:

- Nože
- Stavěcí šrouby
- Hřídel
- Protizávaží

Nože

K vytvoření vyvažovačky bude zapotřebí dvou kusů. Každý by měl být ideálně rovný a při odvalování hřídele jí klást co nejmenší odpor. Aby bylo docíleno tohoto požadavku, musel by být nůž dokonale ostrý. Toto je ovšem požadavek, který, kdyby byl splněn,

získali bychom ideální nůž. Ve skutečnosti sice platí, že čím je menší styčná plocha nože s hřídelí, tím je valivý odpor menší a citlivost vyvažovačky je vyšší. Zároveň ale musíme respektovat fakt, že by takový nůž musel mít hodně vysokou tvrdost, aby nedocházelo vlivem odvalování hřídele ke ztupení ostří a vzniku nerovného povrchu. Proto se musí zvolit vhodný profil nože s ohledem na jeho tvrdost a pevnost. Materiál nože by měl být tepelně zpracován kalením. Konstrukce by měla být masivní, aby nedocházelo k průhybu a vybočení nože nedostatečnou tuhostí. Každý z nožů musí mít na obou svých koncích zarážky, aby se zamezilo svalení hřídele s nasazenou vrtulí.

Stavěcí šrouby

Jelikož stojan, na kterém bude připevněna vyvažovačka, nebude prakticky nikdy stát na vodorovné rovině, musí být nože opatřeny stavěcími šrouby. Tyto šrouby musí umožnit ustavení každého z nožů do vodorovné roviny a zároveň jejich vzájemné ustavení do vodorovné roviny mezi sebou. Navrhují proto umístit na konce obou nožů tyto šrouby.

Hřídel

Tuto součást navrhují vytvořit z tyče plného kruhového průřezu. Musí být rovná s přesným kruhovitým průřezem po celé její délce. Na jeden konec se připevní příruba k namontování vrtule a na druhém konci se nasune protizávaží. Průměr a materiál hřídele musí být zvolen tak, aby při zatížení nedocházelo k jejímu průhybu. Vhodná by byla taktéž povrchová úprava k zajištění ochrany proti korozi. V úvahu připadá chromování, pasivace, kadmiování atd.

Protizávaží

Umístěním protizávaží na opačný konec hřídele se vyváží zatížení na konci, kde je připevněna vrtule. Zamezí se tak překlopení vrtule a bude zajištěno rovnoměrné zatížení obou nožů. Protizávaží by mělo být připevněno takovým způsobem, aby jej bylo možno po hřídeli posunovat a zároveň také zajistit proti pohybu. Každá vyvažovaná vrtule totiž bude mít jinou hmotnost. Výhodné by bylo vyrobit více protizávaží o různých hmotnostech, abychom mohli vyvažovat více typů vrtulí.

5.5 Umístění samoprotáčekého stojanu s vyvažovačkou v opravárenské hale

U původního stojanu nebylo zapotřebí činit nějaká zvláštní bezpečnostní opatření. Bylo důležité pouze umístit stojan na takové místo, na kterém by nehrozilo poškození připevněných vrtulí. Taktéž nebylo zapotřebí označit stojan varovnou cedulí. Původní stojan měl vyhrazené umístění na kraji hangáru, aby nepřekážel a zároveň v případě potřeby byl k snadno dispozici. V opravárenském středisku v Mošnově je možností pro umístění bezpočet, avšak toto musí být takové, aby nepřekáželo při běžné činnosti a pohybu po hangáru a splňovalo předpisy. Důležitým faktem je, že v určitou dobu bude stojan protáčet s vrtulemi. Tímto vzniká nebezpečí poranění, či poškození rotujícími listy vrtule. Mělo by tedy být učiněno opatření, které by tomuto riziku zamezilo. Mezi možné způsoby provedení tohoto opatření patří umístění stojanu na vhodné místo, které svou polohou neumožňuje neoprávněný přístup neoprávněnému personálu a tak vylučuje riziko úrazu. Realizace opatření může spočívat v oplocení stanoviště se stojanem nebo umístění zábran s páskou a varovnou cedulí. Další možností je umístění stojanu v dílně, která je vymezená pro opravu vrtulí. V opravárenském středisku již takovéto pracoviště bylo, avšak bylo zrušeno. Nyní se, dle posledních informací, uvažuje o jeho opětovném zřízení. Zásadou by mělo být, že přístup k tomuto stojanu by měla mít pouze oprávněná osoba.

6. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval technologií oprav vrtulových listů na daných letounech. Byl zde vysvětlen účel a důležitost letecké vrtule, jako prvku konstrukce letadla. Vrtule byla popsána především z konstrukčního hlediska, které je velmi důležité pro porozumění vzniku poškození a způsobu jeho následné opravy. Dále zde byly vybrány příklady nejčastějších poškození a uvedeny způsoby jejich opravy. Na základě vysvětlení problému na vrtulích letounu SAAB 340 pak bylo porovnáno s vrtulemi letounu SAAB 2000 a uvedeny odlišnosti.

6.1 Zhodnocení cílů

Hlavním cílem bakalářské práce bylo na základě průzkumu situace při provádění oprav a údržby listů vrtule v reálném prostředí zjistit směr možného vylepšení postupů pro jejich opravy. Ačkoliv se při listování v manuálech pro údržbu zdá problematika být natolik široká, že vymyslet vylepšení v kterékoliv z oblastí není problém, není tomu tak. Výrobce totiž sám vydává aktualizace formou bulletinů, kde jsou nedostatky podchyceny a celý proces opravy a údržby vrtulí je tak neustále zdokonalován. Práce je tedy zaměřena na konkrétní zjištěné problémy, týkající se údržby vrtule na hangáru. Byl zde zpracován návrh na zařízení, které tyto problémy odstraní, zvýší efektivnost údržby a v konečném důsledku by mohlo být ekonomickým přínosem.

7. Seznam použitých pramenů:

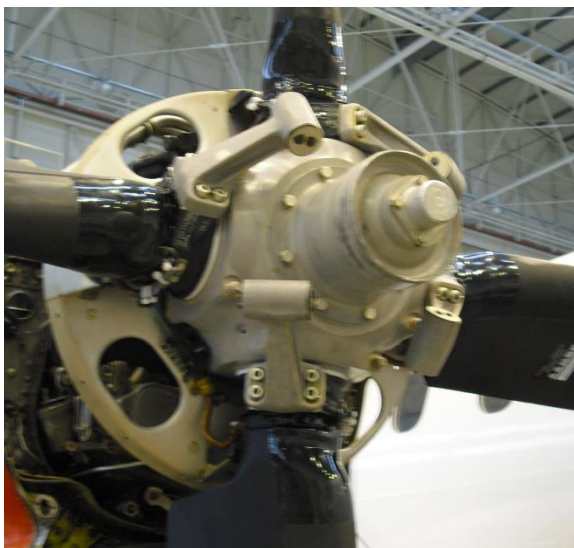
- [1] Dowty aerospace propellers – Customer training course – Study notes, 1994
- [2] Dowty Aerospace Gloucester – Standard Practices Manual – 60-00-00, 1990
- [3] Aircraft Maintenance Manual (AMM) – SAAB 340/2000, Chapter 61-00-00, 1992
- [4] Dowty Aerospace Propellers – Component Maintenance Manual (CMM) – SAAB 340/2000, 1996
- [5] Kocáb, J., Adamec, J.: Letadlové motory, KANT cz s.r.o., 2000, Praha, 176 s., ISBN: 80-902914-0-6
- [6] Nařízení komise 2042, Praha, Úřad pro civilní letectví, 2003
- [7] <http://letectvi.wz.cz/clanky/vrtule/> (5. 4. 2010)
- [8] http://www.regulacni-pohony.cz/frm_krok.html (10. 2. 2010)

Přílohy bakalářské práce

8. Seznam příloh

Příloha A - Vrtulová hlava.....	64
Příloha B – List vrtule.....	65
Příloha C – Poškození listů vrtule.....	66
Příloha D – Váhové vyvažovací zařízení.....	67
Příloha E – Samoprotáčecí stojan s vyvažovačkou.....	68

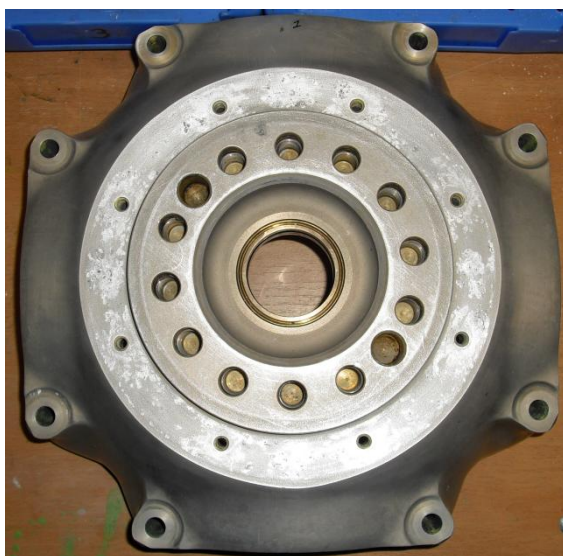
Příloha A - Vrtulová hlava



Obr. A1 Vrtulová hlava



Obr. A2 Přední polovina vrtulové hlavy



Obr. A3 Zadní polovina vrtulové hlavy



Obr. A4 Těsnění otvoru pro vrtulový list



Obr. A5 Křížová hlava pro stavění listů vrtule

Příloha B – List vrtule



Obr. B1 Řez listem vrtule



Obr. B2 Podélný řez listem vrtule



Obr. B3 Uchycení listu vrtule v kořenové části



Obr. B4 Řez listem vrtule v oblasti manžety

Příloha C – Poškození listů vrtule



Obr. C1 Díra v erozním pásu



Obr. C2 Prasklina v materiálu manžety



Obr. C3 Odstraněný erozní pás



Obr. C4 Prasklina v erozním pásu



Obr. C5 Poškození laku listu vrtule



Obr. C6 Odlepený erozní pás

Příloha D – Váhové vyvažovací zařízení



Obr. D1 Váhové vyvažovací zařízení



Obr. D2 Indikace nevyváženosti



Obr. D3 Stupnice pro nastavení citlivosti

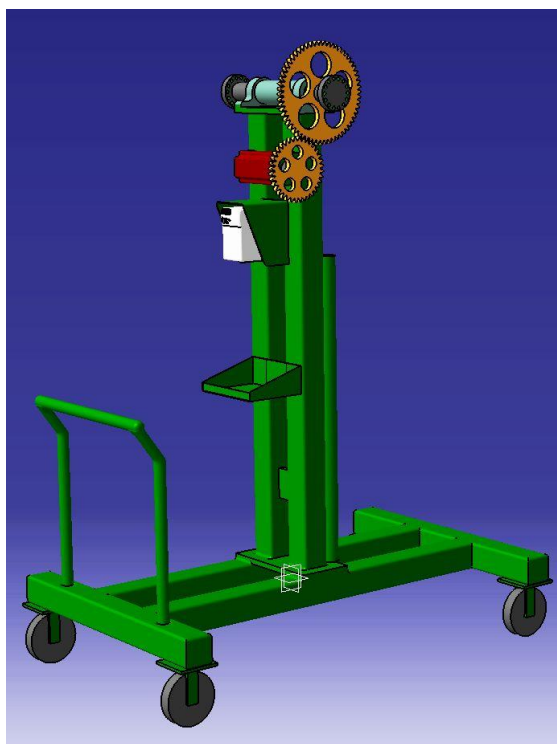
Příloha E – Samoprotáčeký stojan s vyvažovačkou



Obr. E1 Původní stojan na vrtuli



Obr. E2 Původní stojan na vrtuli



Obr. E3 Návrh samoprotáčekýho stojanu



Obr. E4 Návrh nožové vyvažovačky